

5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

"ANALISIS DE FUNCIONABILIDAD DE LAS PRINCIPALES
CAPTACIONES DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO
DE LA CIUDAD DE MEXICO"

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

LUIS ANTONIO ALCANTARA REYES



DIRECTOR DE TESIS:

M.I. FRANCISCO ECHAVARRIA ALFARO

México, D.F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEA C/UTIT/856/98

Señor
LUIS ANTONIO ALCANTARA REYES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. I. FRANCISCO ECHAVARRIA ALFARO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.


"ANALISIS DE FUNCIONABILIDAD DE LAS PRINCIPALES CAPTACIONES DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO"

- INTRODUCCION**
- I. EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO**
 - II. GEOMETRIA DE LAS CAPTACIONES**
 - III. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO**
 - IV. ANALISIS GEOTECNICO**
 - V. DISEÑO ESTRUCTURAL**
 - VI. EXPERIENCIA EN LA OPERACION DE LAS CAPTACIONES**
 - VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 7 de mayo de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS
UMCS/GMP*lmf

Agradecimientos:

A mis padres y hermanos:

Gracias...

Lo único que acierto a decir es gracias por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de vida, por toda la ayuda recibida ya que han hecho más ligero mi camino, por las palabras de aliento escuchadas en los momentos más difíciles, por todas las cosas...

por la vida misma, y ahora que hago realidad uno de mis más grandes anhelos, quiero agradecer todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo, por todo y por mucho más...

Gracias.

Con todo el respeto a la Facultad de Ingeniería de la UNAM por haberme albergado en su seno durante el periodo de mi formación como ingeniero, permitiéndome alcanzar una de mis metas.

A mi director de tesis por el apoyo, interés e invaluable ayuda brindada para la realización de este trabajo.

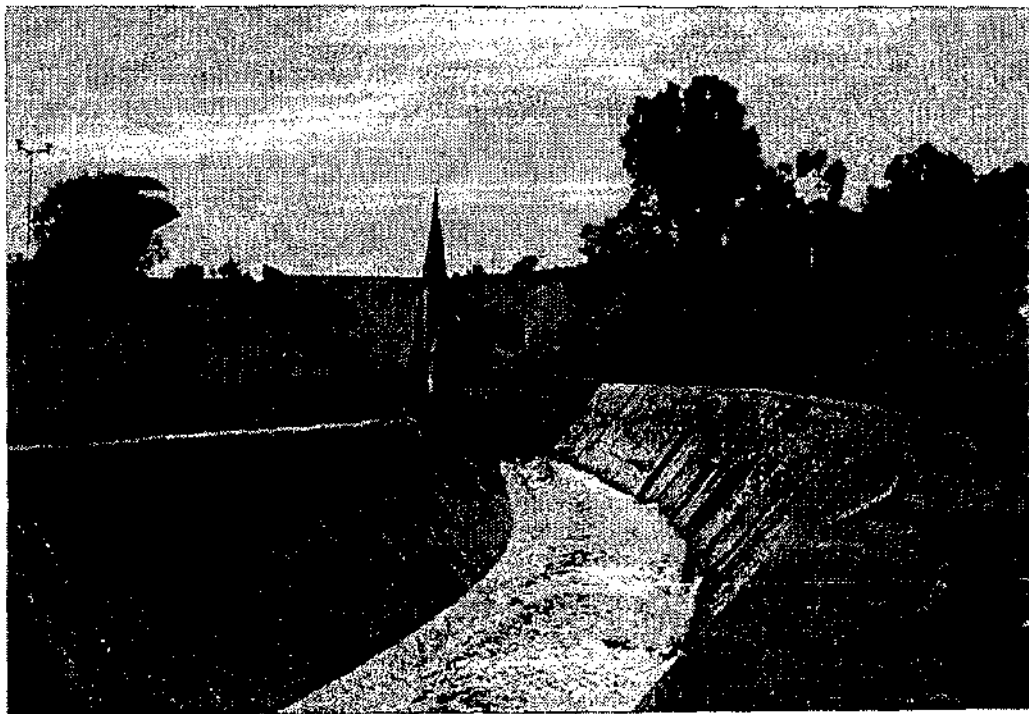
A la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica por las facilidades brindadas a través de la Subdirección de programación, la Subdirección técnica y la biblioteca, para la documentación de este trabajo.

Añ Ing. José J. Izquierdo Alamilla por su desinteresada y gran ayuda para la realización de este documento.

A todos mis familiares, amigos y compañeros que han creído en mí y me han brindado su sincero y desinteresado apoyo.

A todos aquellos que de alguna manera han estado presentes a lo largo de mi camino y ahora pudiera omitir.

Análisis de Funcionabilidad de las Principales Captaciones del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México



Portal de salida. Descarga del emisor central a el Río El Salto, en el estado de Hidalgo

ANÁLISIS DE FUNCIONABILIDAD DE LAS PRINCIPALES CAPTACIONES
DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. -EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 El hundimiento de la ciudad de México	5
1.3 Configuración del sistema de drenaje profundo	5
2. - GEOMETRÍA DE LAS CAPTACIONES	10
2.1 Componentes de las obras de captación	10
2.2 Obras de captación al drenaje profundo	18
3. - FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO	28
3.1 Procedimiento de diseño	28
3.1.1 Consideraciones previas	28
3.1.2 Ubicación de estructuras	29
3.1.3 Selección del arreglo lumbrera – orificios de desfogue	29
3.1.4 Procedimiento de diseño	30
3.1.5 Diseño del canal de transición	33
3.2 Ejemplo numérico de caída libre, captación del colector Río Churubusco en la lumbrera 1 del Interceptor Oriente	34
3.3 Ejemplo numérico de ranura vertical, captación del Colector Apatlaco en la lumbrera No. 2 del Interceptor Oriente	45
3.4 Ejemplo numérico de cámara en espiral, captación Cuitláhuac en el Interceptor Central	56
3.4.1 Metodología de cálculo	56
3.4.2 Desarrollo del ejemplo numérico	57
4 -ANÁLISIS GEOTÉCNICO	64
4.1 Tipos de suelos (Zonificación Geotécnica)	64
4.1.1 Zona de Lago	64
4.1.2 Zona de Transición	66
4.1.3 Zona de Lomas	67

4.2 Trabajos de exploración y ensayos de Mecánica de Suelos	69
4.2.1 Trabajos de exploración	69
4.2.2 Índice de actividades de la exploración de campo	69
4.2.3 Ensayes de laboratorio de Mecánica de Suelos	70
4.2.4 Pruebas índice	70
4.2.5 Pruebas mecánicas	71
3. -DISEÑO ESTRUCTURAL	76
5.1 Sollicitaciones estáticas y dinámicas	76
5.2 Análisis estructural	79
5.3 Diseño estructural de elementos	80
4. - EXPERIENCIA EN LA OPERACIÓN DE LAS CAPTACIONES	83
5. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	88

INTRODUCCION

Antecedentes.- El Valle de la Ciudad de México, a través de su historia ha sufrido grandes problemas de inundaciones debido a su configuración geohidrológica, esto ha obligado a sus habitantes a buscar soluciones a este problema.

En el presente siglo el problema ha ido en aumento, por lo que se han buscado soluciones más acertadas. Una de estas soluciones es la construcción de un drenaje que no estuviera sometido a los problemas de hundimiento y que su funcionamiento fuera por gravedad para aminorar los gastos de operación, así, en los años sesenta se inicia la construcción del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, el cual cumple con estas expectativas.

Construir túneles a gran profundidad es una muy buena solución al problema, pero esto presenta otro problema, que es el de bajar grandes cantidades de agua desde la superficie hasta las profundidades a que este se encuentra por los problemas que el agua causa a las estructuras.

Se han buscado muchas soluciones ha este problema de la caída del agua, desarrollando teorías, construyendo modelos y experimentando en laboratorios, así se ha logrado resolver el problema, aunque actualmente se siguen analizando alternativas que puedan mejorar a las que se tienen.

Alcances.- En el presente trabajo se pretende dar a conocer las obras de captación al Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México que se han desarrollado desde que este se presentó como una alternativa a los problemas de inundación de la Ciudad de México, además también se pretende:

- Ubicar el problema en el ambiente histórico y físico para un mejor conocimiento de este.
- Ejemplificar numéricamente los procedimientos de diseño hidráulico, esto sin que se pretenda desarrollar con ello una metodología de cálculo.
- Presentar en forma general los procedimientos y recomendaciones para el análisis geotécnico y el diseño estructural considerando que cada proyecto es un caso específico y que debe ser analizado por separado.

Para lograr este cometido, el trabajo se desarrolla de la siguiente manera:

En el capítulo 1 "El sistema de Drenaje Profundo", se presenta una reseña histórica desde la época prehispánica hasta nuestros días, presentando la problemática del desalojo de las aguas residuales y pluviales con las que los habitantes se han tenido que enfrentar debido a las condiciones geohidrológicas de la cuenca. En este mismo capítulo, se presenta en forma muy general la configuración actual del sistema de drenaje profundo.

En el capítulo 2 "Geometría de las Captaciones", se describe las captaciones desde el punto de vista geométrico, con cada una de las componentes que la integran, su funcionamiento hidráulico, y en algunos casos se enuncian aspectos importantes que se consideran para su elección o diseño.

En el capítulo 3 "Funcionamiento Hidráulico", se presenta la metodología para el diseño de estructuras de caída con tubos de desfogue al sistema de drenaje profundo, sobre la base de

los estudios realizados en modelos experimentales por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGOH). Posteriormente en este mismo capítulo, se presentan 3 ejemplos numéricos; uno de cada captación tipo que existe o que ha sido utilizado durante el desarrollo del sistema.

Estos ejemplos numéricos se hacen para las conexiones mediante caída libre, ranura vertical y cámara en espiral. Para desarrollar estos ejemplos, se tomaron como base algunos datos de obras existentes que funcionan o que fueron diseñadas para trabajar con los principios de cada tipo. No se considera la totalidad de los datos, debido a que el presente trabajo está basado en el funcionamiento hidráulico y los datos recopilados consideran casi la totalidad de variables y aspectos que se presentan en estas obras, por ello dichos datos llegan a salir del campo de estudio.

Los ejemplos numéricos, por lo anteriormente enunciado, no son diseños exactos, además de que debe tomarse en cuenta que el diseño de cada conexión es un caso diferente y por tanto, los ejemplos que aquí se presentan no deben considerarse como una secuencia rígida de pasos de cálculo, o como una metodología de diseño.

En el capítulo 4 "Análisis Geotécnico", se presenta la zonificación geotécnica del Valle de México con el fin de mostrar o saber en qué tipo de zonas se va a trabajar y que problemas pueden presentarse por ello. También se presenta un estudio sobre los trabajos de exploración y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos que se deben realizar en el proyecto de una obra de captación al drenaje profundo.

Dada la gran variedad existente de condiciones geológicas en el subsuelo, esta segunda parte (estudio sobre los trabajos de exploración y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos) esta enfocada a la zona de lago, que es la más representativa y la que mayor influencia tiene en el proyecto por la problemática que presenta.

En el capítulo 5 "Diseño Estructural", se presenta en la primera parte un análisis de las solicitaciones estáticas y dinámicas que se tienen en cada componente de las estructuras y posteriormente se dan los criterios y recomendaciones para el análisis y diseño de las estructuras que integran las captaciones al sistema de drenaje profundo, tomando en consideración que estas estructuras estarán ubicadas en zona compresible o zona de lago.

En el capítulo 6 "Experiencia en la operación de las captaciones", se expone de manera breve algunos de los problemas que se presentan en las estructuras durante su operación. Esta descripción que se hace está basada en una plática otorgada por el Ing. Juan Manuel Anguiano Lozano, jefe de la Unidad Departamental de Drenaje Profundo de la Dirección de Operación de la DGOH, y por el Ing. Tomas Antonio Aguilar Chavez, Ing. Residente de la Oficina del Interceptor Poniente.

Finalmente en el capítulo 7 "Conclusiones y recomendaciones", estas se hacen sobre la base de lo estudiado y observado durante el desarrollo del presente trabajo.

1. - EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

El Sistema de Drenaje Profundo es parte importante de la historia hidráulica de la Ciudad de México de finales del siglo XX. Ante una sobrepoblación y la infraestructura hidráulica superficial rebasada en su capacidad, el drenaje profundo es la más acertada alternativa para el desalojo oportuno de grandes volúmenes de agua pluvial.

Así, el drenaje profundo no requiere de bombeos porque funciona por gravedad y no es afectado por los hundimientos del subsuelo, cabe señalar que el nombre no solo indica que la ubicación de los túneles sea a grandes profundidades, sino que además cumple con las condiciones de trabajar por gravedad y no necesariamente es de gran diámetro, ya que este depende del gasto transportado y de la maquinaria existente para su realización. Además, fue diseñado para aprovechar la infraestructura primaria existente, la cual por otra parte, se ha ampliado y conservado para garantizar a la población su seguridad contra las inundaciones.

1.1 Antecedentes

La Ciudad de México desde sus orígenes en el año de 1325, cuando se fundó la Gran Tenochtitlán, ha enfrentado en diferentes circunstancias de suministro y el desalojo de sus aguas, con base en las necesidades sociales y los recursos de cada época. A continuación se presenta una breve reseña de los problemas de desalojo que se han enfrentado desde entonces:

Epoca Prehispánica.- “La mar” que vieron los primeros españoles que llegaron al Valle de México era el lago de Texcoco, cuyas aguas eran saladas por el contenido de salitre de su lecho, y el lago de Chalco. En aquella época, estos lagos formaban parte de una gran planicie rodeada de montañas cubiertas de pinos, encinos, robles y numerosos ríos pequeños. Como los lagos estaban a diferente altura, el agua de Chalco se desbordaba con frecuencia sobre el de Texcoco.

Desde entonces empezó la lucha de los habitantes del Valle con el agua, ya que aunque no ocurrieran tormentas extraordinarias, bastaba con que durante varios años se presentaran veranos lluviosos para que el nivel de los lagos se elevara peligrosamente, ya que no existían desagües. Los primeros asentamientos indígenas se localizaron en los islotes y riberas de los lagos, pero conforme se acentuó el predominio de los aztecas, Tenochtitlán se extendió hacia las superficies que ganaban al agua. Entonces el aumento en los niveles de los lagos comenzó a ocasionar daños cuantiosos.

Ante este problema se construyeron bordos y diques de contención. En 1450 Netzahualcóyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey azteca Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un albarradón de más de doce kilómetros de longitud y cuatro metros de ancho para proteger a la Gran Tenochtitlán del azote de las inundaciones. El dique dividió desde entonces el lago de Texcoco y a la parte occidental se le dio el nombre de Laguna de México. Esta obra también contribuyó a disminuir la salinidad del agua que rodeaba a la ciudad, beneficiando a los cultivos.

Tenochtitlán era una ciudad lacustre cuyos habitantes aceptaban esas circunstancias naturales, por lo que solo pensaron en contener las aguas, sin crear un sistema para desalojarlas del Valle.

Epoca Colonial.- Pero todo cambió al iniciarse la conquista. Durante el asedio de la ciudad por Hernán Cortés en 1521, se abrieron varios boquetes en el albarradón de Netzahualcóyotl para

permitir el paso de las embarcaciones españolas. Posteriormente, las lluvias torrenciales alertaron a las autoridades coloniales sobre el gran problema de inundaciones que afectaba a la Ciudad de México, por lo que en 1555 el virrey Velasco ordenó la construcción del albarradón de San Lázaro y se hizo un primer proyecto para el desagüe del Valle de México.

Sin embargo, en 1604 y 1607 ocurrieron graves inundaciones, provocadas principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán, que ocasionaron numerosas muertes y cuantiosos daños materiales. Alarmado el virrey envió una proposición al Cabildo para que se procediera a construir un desagüe de la ciudad.

Enrico Martínez propuso a las autoridades un proyecto consistente en la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, al noroeste del Valle de México. El plan fue aceptado y el 29 de noviembre de 1607 el virrey dio la primera azadonada de esta gran obra, que fue terminada en menos de un año. Así el Valle dejó de ser una cuenca cerrada para contar con su primera salida artificial de agua. Pero por falta de revestimiento, poco tiempo después ocurrieron derrumbes que inutilizaron el túnel. Entonces se decidió sustituirlo por un tajo o zanja, que pudo ser terminado después de 160 años de trabajo, interrumpido por frecuentes derrumbes, inundaciones y problemas.

Finalmente, a partir de 1789 se dio salida permanente a las aguas de la cuenca de México, para seguridad de sus habitantes. En 1803 y 1804, Humboldt, luego de inspeccionar las obras hidráulicas llegó a la conclusión de que había que completar el plan de Enrico Martínez para drenar el Valle con un gran canal de desagüe. Pero la lucha por la independencia retrasó este ambicioso proyecto casi un siglo.

El siglo XIX. - La salida de la cuenca por el tajo de Nochistongo empezó a alterar la ecología del Valle e inició un nuevo proceso: el nivel de los lagos ya no crecía como antes, los diques crearon áreas seguras para que la ciudad se extendiera sobre las planicies lacustres y la población se concentró aún más en las orillas de los antiguos lagos. Estas zonas sufrían cuantiosos daños cuando los ríos que atravesaban la ciudad se desbordaban.

Hacia 1856 las inundaciones eran cada vez más alarmantes: en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura. A principios de ese año se abrió un concurso para el proyecto de las aguas de desagüe, ofreciéndose un premio de doce mil pesos oro al ganador. El plan más completo y mejor calificado fue el del ingeniero Francisco de Garay, que comprendía el Gran Canal del Desagüe y el primer túnel de Tequisquiác. Ambas obras se inauguraron en 1900. Se trataba de un esfuerzo colosal, pero de ninguna manera se había logrado la solución total.

Historia reciente. - En 1930 se terminó el primer red de drenaje por gravedad, consistente en un sistema de tuberías que descargaban al Gran Canal y en el lago de Texcoco.

Pero como consecuencia del crecimiento demográfico y de la expansión urbana, este sistema se volvió insuficiente para una población que se había duplicado en diez años y que en 1940 era de casi dos millones de habitantes. En esta época hubo varias inundaciones graves en las partes bajas de la ciudad, ya que además otro problema se había añadido: el hundimiento cada vez más acelerado del suelo, ocasionado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, que deterioró el sistema y disminuyó su capacidad para desalojar aguas del Valle, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiác.

1.2 El hundimiento de la Ciudad de México

Desde principios de siglo hasta 1936, los hundimientos de la Ciudad de México se mantuvieron en el orden de cinco centímetros por año. Al aumentar la demanda de agua, se inició la perforación de pozos profundos, y entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 centímetros por año, para llegar después a 30 y 50 centímetros anuales. Como consecuencia, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, con un incremento en los costos de operación y mantenimiento. En 1960 se construyeron el interceptor y el Emisor del Poniente, con el objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, descargándolas a través del tajo de Nochistongo.

No obstante, el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor del Poniente. En 1970, ya el hundimiento había sido tal que el nivel del lago de Texcoco, que en 1910 se hallaba 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad, se encontraba 5.50 metros más arriba. Se requería de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los asentamientos del terreno, que no necesitara bombeo y que expulsara las aguas por una cuarta salida artificial, es por ello que se decidió construir el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Desde el punto de vista geohidrológico, la cuenca del Valle de México es una gran olla cuyas paredes impermeables están constituidas por rocas volcánicas. Esa olla está rellena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos que van desde arenas gruesas hasta arcillas con altos contenidos de agua. Dentro de este marco histórico, geológico e hidrológico funciona el sistema de drenaje del Distrito Federal.

El sistema es combinado, conduciendo tanto aguas de lluvia como residuales a través de una red primaria y una secundaria con plantas de bombeo, tanques de tormenta, cauces abiertos, uno de ellos en proceso de entubamiento, ríos entubados, presas, lagunas y drenaje profundo. En la actualidad se están separando los drenajes

A partir de 1975, año en que se concluyó la primera etapa del drenaje profundo, este se convirtió en uno de los componentes más importantes del sistema de desagüe. Consta de varios interceptores que fluyen hacia un mismo conducto para evacuar las aguas. Por sus características de construcción y por la profundidad a que se encuentra, no es afectado por el hundimiento y opera por gravedad, por lo que será una obra durable y económica a largo plazo.

1.3 Configuración del sistema de drenaje profundo

Actualmente, el drenaje profundo está compuesto por las estructuras que se describen a continuación:

Emisor Central.- El Emisor Central comienza en Cuatepec, en la delegación Gustavo A. Madero, atraviesa la autopista México - Querétaro a la altura de Cuautitlán y continúa paralelamente a ésta hasta el puente de Jorobas, donde la vuelve a atravesar. Ahí se dividen las cuencas del Valle de México y del río El Salto, descarga de este último río a través del portal de salida y las aguas se conducen hasta la presa Requena o al canal El Salto - Tlaxaco y posteriormente al río Tula y a la presa Endó, que satisface las demandas de riego de la zona. El río Tula es influente del Moctezuma y éste, a su vez, del Pánuco, que descarga en el Golfo de México.

La función más importante del Emisor Central es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Interceptor del Poniente. - El interceptor inicia en la zona suroeste de la Ciudad, en la cuenca del Río Magdalena en la delegación Magdalena Contreras, atraviesa las delegaciones Alvaro Obregón y Miguel Hidaigo y al Municipio de Naucalpan en el Estado de México, llegando a descargar en el Río Hondo en el mismo estado. En su trayectoria recibe las descargas de 16 colectores en el D.F. y 3 en el Estado de México. En la lumbrera 14 se cuenta con una estructura de descarga al Interceptor Centro Poniente del Sistema de Drenaje Profundo a la altura del Bosque de Chapultepec. Su función principal es la de captar las aguas provenientes del Poniente de la Ciudad para evitar inundaciones en las partes bajas de la misma.

Interceptor Centro Poniente. - Se inicia en la lumbrera 14 del Interceptor del Poniente, cerca del Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad, en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central, en el Cerro del Tenayo. Posee estructuras de captación en cinco lumbreras, que captan a los colectores Rubén Darío, Río San Joaquín, Refinería Trujillo, Salomón Lerdo de Tejada y al colector 15; benefician a gran parte de las delegaciones Miguel Hidaigo y Azcapotzalco. Además alivia al Interceptor del Poniente en la lumbrera 14.

Interceptor Central.- Este conducto se encuentra construido desde la lumbrera 4A, en el cruce de las avenidas Dr. Vertiz y Obrero Mundial, hasta la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtepc. Alivia al Río de la Piedad y capta los colectores de Tabasco, 5 de mayo, Héroes, Río Consulado, Cuicláhuac, Fortuna y Moyobamba. También cuenta con obras de toma de los ríos de los Remedios, Tlalnepantla, San Javier y Cuauhtepc. Beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de la Benito Juárez.

Interceptor Oriente. - Su tramo Norte, principia en las calles de Agiabampo y Troncoso por esta calle se va hacia el norte hasta la calzada Zaragoza. A partir de aquí el túnel se deflexiona para continuar en forma paralela al Gran Canal hasta la calzada San Juan de Aragón, donde el túnel se dirige hacia el oriente para alcanzar la Av. Eduardo Molina y así llegar hasta la lumbrera 8C ubicada en la colonia Salvador Díaz Mirón y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtepc.

La función principal del túnel es aliviar al Gran Canal del Desagüe a través de la obra de toma de la cual depende para su drenaje gran parte del centro y norte del Distrito Federal, aunque también cuenta con una captación en la lumbrera 13 ubicada en la colonia La Pastora para el desfogue de la laguna de regulación El Arbolillo en Cuauhtepc, con la que se beneficia una parte de la delegación Gustavo A. Madero. Actualmente se encuentra en proceso constructivo el entubamiento del Gran Canal del Desagüe, en sus 9.5 km localizados dentro del Distrito Federal, de los cuales 4.5 km se encuentran ya en operación.

Hacia el sur, el Interceptor Oriente corre por el Eje 3 Oriente, a partir de la calle Agiabampo, en su intersección con el Interceptor Centro - Centro en la lumbrera 4, hasta la avenida Tasqueña, donde se conecta al Interceptor Canal Nacional - Canal de Chalco. En el cruce con la calle Tlazintla se ubica la lumbrera 3, cercana a ella es captado el colector Plutarco Elías Calles directamente al túnel; en la lumbrera 2, ubicada en la esquina con avenida Apatlaco, capta el colector del mismo nombre. Las aguas del cauce entubado del río Churubusco, son captadas en la lumbrera 1.

interceptor Centro - Centro. - Este Interceptor une los interceptores Oriente y Central. Se inicia en la lumbrera 1 ubicada en la esquina de las calles Dr. Durán y Dr. José María Vertiz, y termina en la lumbrera 4, en Agiampo y Francisco del Paso y Troncoso.

Beneficia a algunas colonias de la zona centro del Distrito Federal. Para esto se construyó una estructura de captación para el Colector 10 en la lumbrera 2, la cual conducirá las aguas del Interceptor Oriente, que a su vez aliviara al río Churubusco y al Interceptor Canal Nacional - Canal de Chalco.

Interceptor Oriente – Sur.- El trazo de este túnel se inicia en la lumbrera 1, ubicada entre las calles Iztaccihuatl y Anillo Periférico, en Iztapalapa, para concluir en la lumbrera 5 del Interceptor Oriente, en Francisco del Paso y Troncoso, esquina calzada Ignacio Zaragoza. Su longitud de 13.8 km con 5 m de diámetro y 8 lumbreras en su trayecto

Como una opción operativa de gran importancia, este interceptor cuenta con la planta de bombeo Zaragoza de 20 m³/s con la cual se podrá aliviar al Interceptor Oriente - Sur hacia el entubamiento del río Churubusco, o invertir su funcionamiento en caso necesario.

A través de sus captaciones aliviara a los colectores Luis Manuel Rojas, Iztapalapa II, Ejercito de Oriente, Canal de San Juan, Zaragoza Norte, Río Churubusco y el Iztaccihuatl; y a los interceptores Iztapalapa y Oriente - Oriente. Además de la delegación Iztapalapa, se beneficiara a Iztacalco y Venustiano Carranza.

El tramo comprendido entre las Lumbreras 7A hasta su confluencia con la lumbrera 5 del Interceptor Oriente, se tiene programado iniciar su operación en el corto plazo.

Interceptor Oriente - Oriente. - Su trazo se inicia en la parte norte de la laguna de regulación "El Salado", ubicada en el cruce de las Avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la lumbrera 6 del Interceptor Oriente - Sur, en la esquina de Canal de San Juan e Ignacio Zaragoza. Tiene una longitud de 7.2 km, diámetro de 5 m y 5 lumbreras, ya construidas, de las cuales 2 son constructivas, y en corto plazo se iniciara la excavación del túnel. Por medio de lumbreras de captación aliviara a los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Iztapalapa, la laguna de regulación "El Salado", que a su vez recibe la aportación de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte y San Miguel Teotongo y los colectores Las Torres, Santa Martha - Ejercito de Oriente, entre otros.

Interceptor Iztapalapa.- Tiene una longitud de 5.5 km y diámetro de 3.10 m. Capta gran parte de las aguas generadas en la delegación Iztapalapa, las conduce hasta la Planta de Bombeo Central de Abasto II de 20 m³/s de capacidad, que a su vez las incorpora hacia el Río Churubusco. También recibe los desfogues de las lagunas Mayor y Menor de Iztapalapa, que benefician la parte noroeste de esta delegación.

Interceptor Obrero Mundial. - Tiene una longitud de 710 m, diámetro de 3.10 m y dos lumbreras. Su trazo es paralelo al Río de la Piedad, capta a éste último en la lumbrera 2 por medio del Colector Xochicalco, y los escurrimientos de la zona poniente de la delegación Benito Juárez a través del colector Pestalozzi, en la lumbrera 1 para descargarlos posteriormente en la lumbrera 4 del Interceptor Central.

Interceptor Canal Nacional - Canal de Chalco.- El trazo de este túnel se inicia en la lumbrera 0, en la avenida Churubusco y Canal Nacional. Se desplaza en forma paralela al Canal Nacional hasta el Eje 3 Oriente, para continuar por éste hasta la calzada de la Virgen, donde se

contempla un ramal de 1.7 km hacia el sur, continúa por la calzada en dirección oriente hasta la confluencia de los canales Nacional y de Chalco. Continúa en forma paralela a éste para terminar en la laguna de regulación San Lorenzo, en Tiáhuac, alcanzando una longitud de 14.3 km y un diámetro terminado de 3.20 m.

El tramo de 6.9 km comprendidos entre las lumbreras 0 y 5 se encuentra en operación, en la lumbrera 5 se captan las aguas del Canal de Chalco y de la Ciénaga Grande; de la L5 a L6 esta excavado y en proceso de revestimiento definitivo. Se continúa la excavación del interceptor para entrar en operación hasta la laguna de regulación San Lorenzo en el mediano plazo.

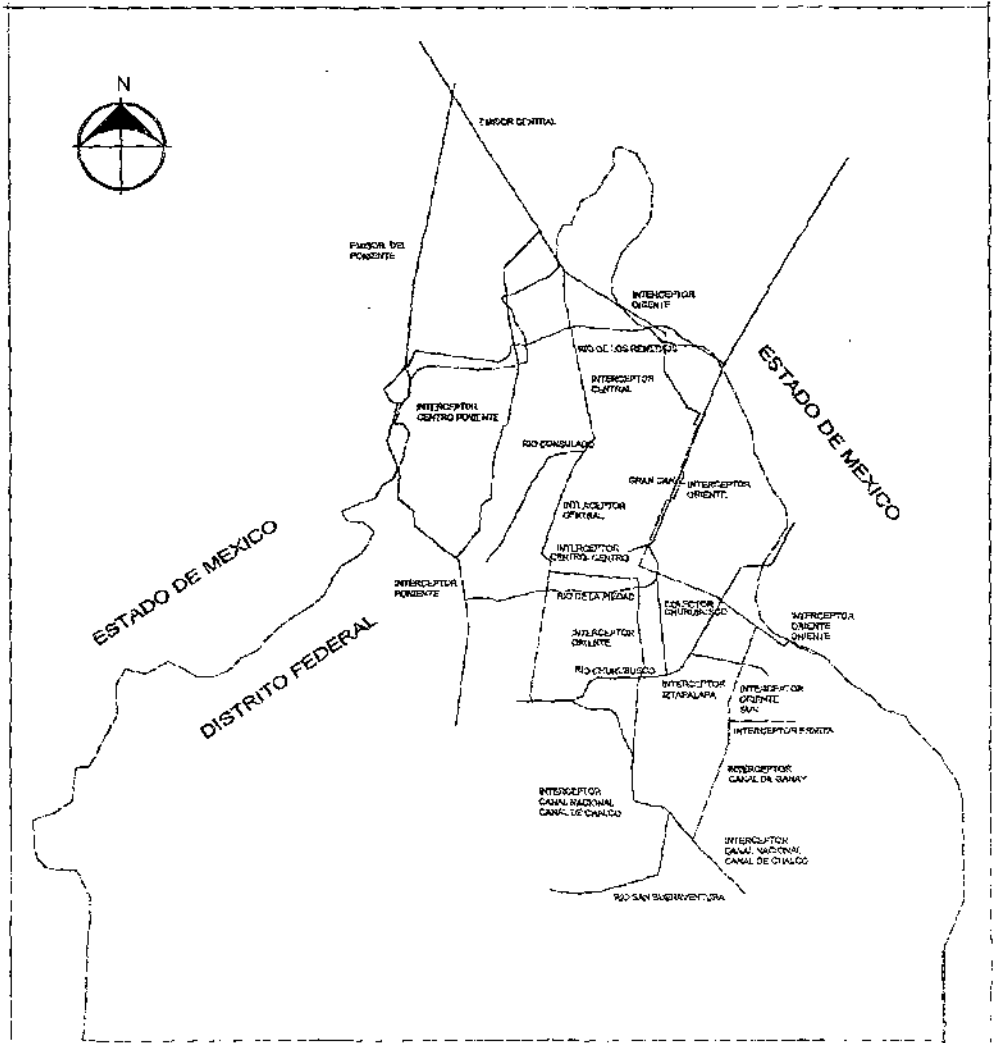
Su caudal será conducido hacia el Interceptor Oriente o al Río Churubusco, mediante la Planta de Bombeo Miramontes de 20 m³/s de capacidad. Con esta estructura se beneficiará principalmente a las delegaciones Coyoacán, Iztapalapa, Xochimilco y Tiáhuac.

Interceptor Ermita. - Con una longitud de casi 6 km inicia su trazo a la altura del cruce del Eje 5 sur con la calzada Ermita Iztapalapa, sigue su trayectoria hacia el poniente de la ciudad para dar vuelta en la calle Luis Manuel Rojas y descargar finalmente en la lumbrera 2 del Interceptor Oriente - Sur. Contará con cuatro lumbreras donde se captará a los colectores Paraje San Juan, Justo Sierra I y II, Cañas, Quetzalcoatl, Pozos y Luis Manuel Rojas, dando así alivio a parte de la zona oriente de la delegación Iztapalapa.

En la siguiente tabla se presentan las características de los interceptores que componen el drenaje profundo de la Ciudad de México, arriba mencionados:

DRENAJE PROFUNDO

Obra	Longitud (km)	Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /s)	Profundidad (m)	
				mín.	máx
Emisor Central	50.0	6.5	220	48	217
Interceptor Central	16.1	5.0	90	22	41
Interceptor Centro - Centro	3.7	5.0	90	25	26
Interceptor Oriente	22.2	5.0	85	37	55
Interceptor Centro Poniente.	16.0	4.0	40	22	51
Interceptor del Poniente.	16.5	4.0	25	20	40
Interceptor Iztapalapa	5.5	3.1	20	11	16
Interceptor Obrero Mundial	0.8	3.2	20	10	16
Canal Nacional - Canal de Chalco	8.7	3.1	20	15	17
Interceptor Oriente Sur	13.8	5.0	85	20	23



SIMBOLOGIA SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO ACTUAL FUTURO LIMITE DE ESTADO
 RED PRINCIPAL DE DRENAJE



Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México
 Plan Maestro de Drenaje 1994-2010

Esc.

S/E

UNAM

2. - GEOMETRÍA DE LAS CAPTACIONES

Las lumbreras son los accesos a los túneles del Drenaje Profundo, estructuras que alcanzan profundidades variables entre los 15 y 220 m. Estas estructuras son excavaciones verticales, de sección circular y de tal diámetro que por ella puede descender la maquinaria, extraer los materiales excavados, y suministrar los que se van a utilizar en la construcción del drenaje profundo; además de ser el acceso del hombre para trabajar en la construcción de estos túneles.

Durante el tiempo de construcción de los túneles que configuran el drenaje profundo, factores económicos, de espacio y constructivos han hecho evolucionar la forma de conectarlos con los colectores superficiales. En la primera etapa constructiva del sistema, se llegó a recurrir a la construcción de lumbreras especiales para realizar las conexiones; posteriormente, se aprovecharon las lumbreras constructivas, cuyos diámetros permiten alojar las estructuras necesarias para descargar las aguas.

Una vez que se termina la construcción de los túneles que configuran el sistema, se colocan en las lumbreras constructivas, otras lumbreras llamadas adosadas, las cuales son las estructuras que permiten conducir los caudales captados hacia los túneles.

Al presentarse una tormenta, el llenado de la red de alcantarillado ocurre en forma gradual, por lo que el gasto que se introduce a la captación crece hasta un máximo que depende de las características de la tormenta y de la capacidad máxima de descarga del colector madrina. Dicho máximo puede mantenerse durante lapsos prolongados, incluso mayores que la duración de la tormenta, para después reducir gradualmente su magnitud.

La lumbrera de captación posee, en su extremo inferior, uno o dos orificios (o un muro vertedor en las primeras lumbreras construidas) con la capacidad necesaria para descargar el gasto de diseño, formar un colchón de amortiguamiento que rompa gran parte de la energía de caída del agua, y la porción sobrante arriba del colchón, para aceptar el exceso de caída y proporcionar parte de la energía necesaria para descargar a través de los conductos inferiores.

Al aumentar el gasto, se incrementan los valores de la altura del colchón de agua que se forma en la lumbrera, y se produce mayor disipación de energía. Los conductos inferiores o en su caso el vertedor, dirigen la descarga al túnel de drenaje profundo con la energía proporcionada por el colchón, si la condición de carga de este es menor que el de salida de la lumbrera adosada. En caso contrario la descarga de la captación debe controlarse a una magnitud menor que tome en cuenta esa contingencia, en virtud de que el ahogamiento de los conductos inferiores elevan el nivel del agua en la lumbrera al grado de influir en el flujo a la entrada de la caída y esto resta capacidad al conjunto.

2.1 Componentes de las obras de captación

En general todas las captaciones al drenaje profundo tienen las mismas componentes, difiriendo solamente la geometría de cada toma. A continuación se enlistan las componentes del sistema:

- * Colector madrina
- * Caja de control
- * Canal de transición
- * Lumbrera adosada

- * Conductos de desfogue
- * Estructura amortiguadora
- * Túnel de drenaje profundo
- * Lumbreira constructiva.

En la figura 1, se muestran las principales estructuras que componen una obra de captación, con la aclaración de que el acomodo que se muestra no limita la aplicación en su uso. En la figura 2 se muestra el corte indicado en la figura 1, observándose en este los componentes del sistema. En ambas figuras se muestran captaciones con conductos para el desfogue al túnel profundo, en las figuras 7 y 10 se muestra una descarga a túnel profundo mediante vertedor (con estructura amortiguadora).

La lumbreira constructiva es de dimensiones estándar y se considera parte del diseño, dado que su posición y el sentido del flujo en el túnel profundo juegan un papel muy importante en el trazo y descarga del colector madrina.

Colector madrina. - Este colector generalmente se construye con el procedimiento de excavación de muro Milán, hasta una profundidad máxima de 10 a 12 m, dependiendo del tipo de terreno. Para profundidades mayores y suelos blandos, la excavación se realiza mediante escudos excavadores, siendo necesario construir por lo menos una lumbreira, a través de la cual se introduzca y extraiga el escudo. En este caso, el proceso de excavación se denomina de túnel semiprofundo. En la figura 1 y 2 se observa esta estructura.

En ambos tipos de excavación se requiere la construcción de una caja derivadora, también llamada de "pegue", cuya función es desviar una parte del flujo del colector primario hacia el sistema de drenaje profundo. La magnitud de alivio es función principalmente de las características geométricas del colector madrina y de las políticas de operación en la captación, a que se refiera.

Cabe mencionar, que puede darse el caso que el colector madrina sea diseñado para aliviar o captar más de un colector de la red primaria, por lo que su dimensionamiento obedece a los resultados que se obtienen de una simulación dinámica de todos los sistemas involucrados.

Debe tenerse en cuenta que las estructuras de una captación no operan durante todo el año, y que en su diseño y construcción se considera este aspecto. Esto significa que se debe cuidar que la caja de control se ubique en la inmediata vecindad de la caja derivadora, para que la escasa velocidad aguas arriba de esta no provoque el azolvamiento del colector.

Las obras cercanas a cualquier lumbreira de captación son susceptibles de sufrir asentamientos, que a su vez pueden modificar su funcionamiento, esto ha provocado que los colectores se diseñen con pendientes de plantilla más allá de lo normal, esperando con ello un flujo supercrítico en los mismos. Los escurrimientos superficiales pueden llegar a ser descargados en forma rápida por la caja de control a la lumbreira adosada. La rapidez de las descargas podrá decrecer conforme los niveles del agua en sistema de drenaje profundo aumenten.

Caja de control. - Esta estructura permite ejercer el control de los gastos por descargar al sistema de drenaje profundo. Contiene generalmente dos juegos de compuertas alojadas en una caja rectangular o circular, cuyas dimensiones dependen de la magnitud del gasto de

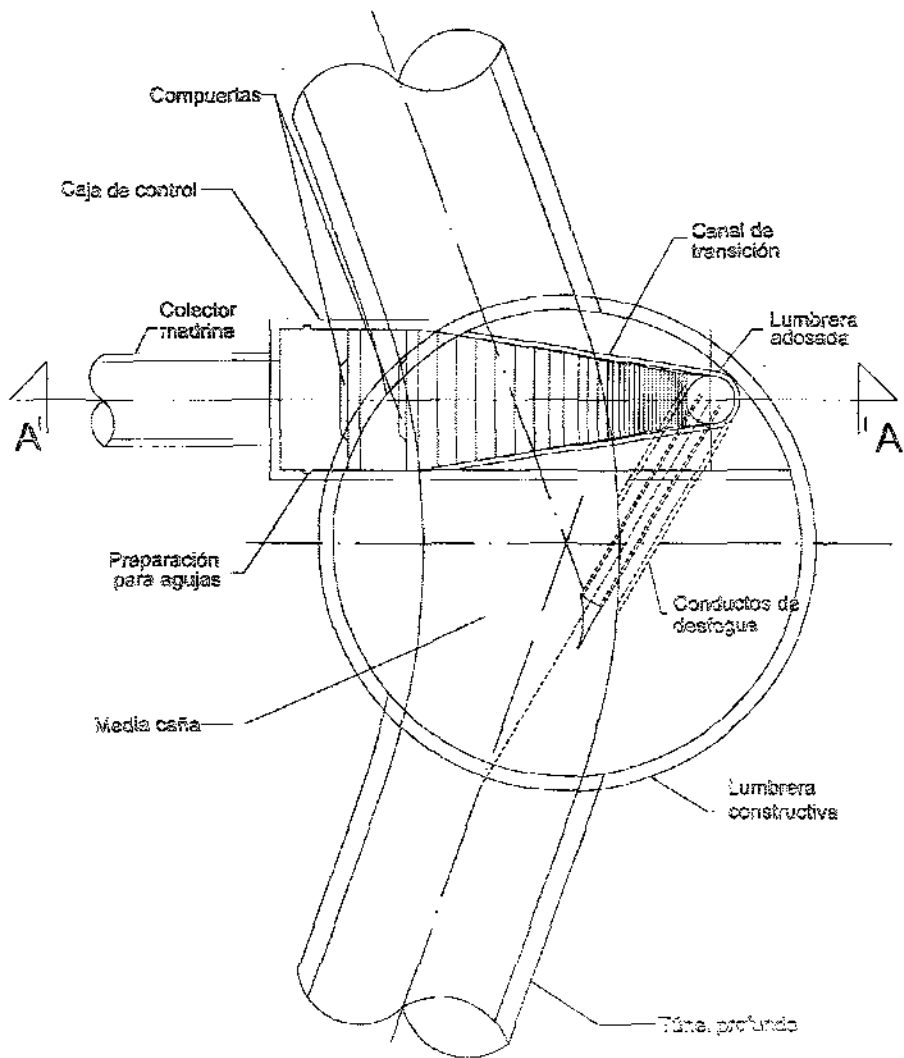


Figura No. 1 Captación tipo con
conductos de desfogue

Esc.

S/E



UNAM

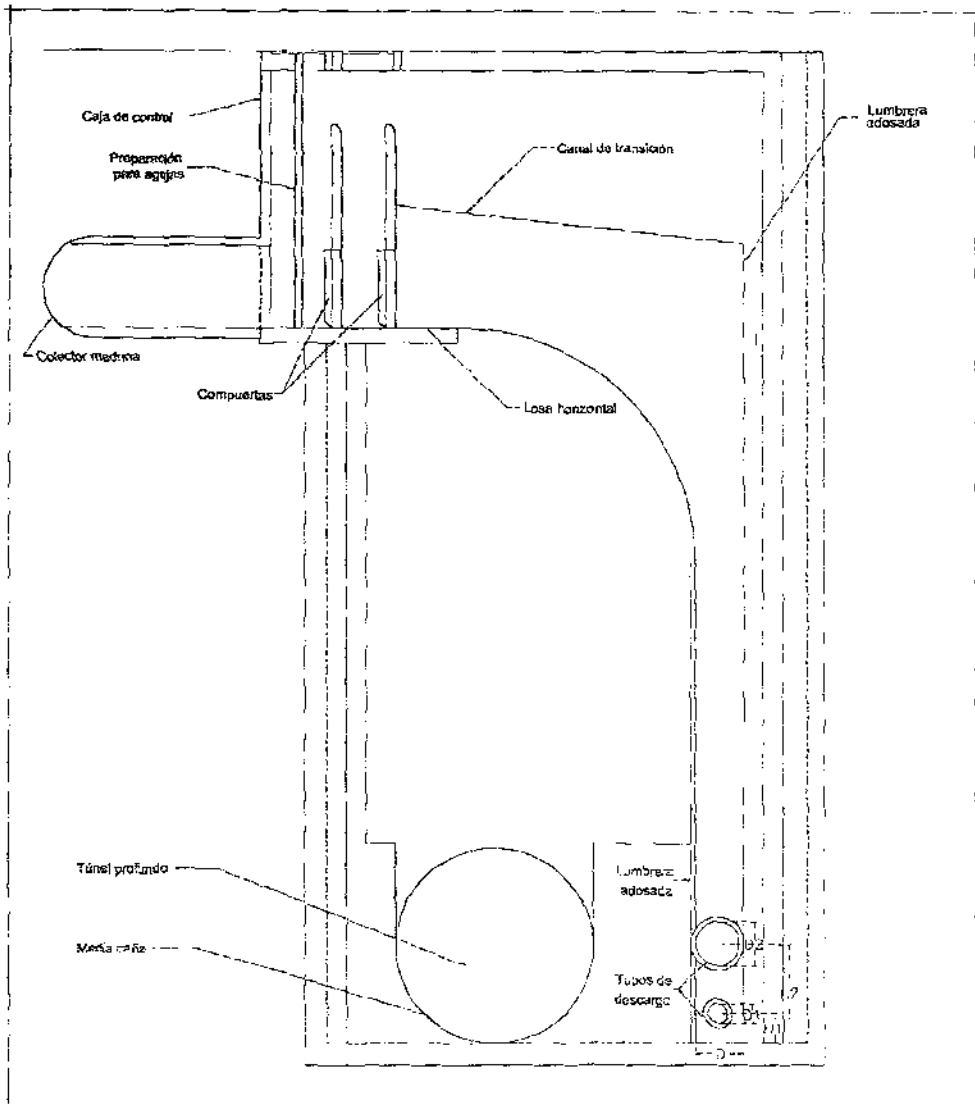


Figura No. 2 Corte A - A
 Captación tipo con conductos de desfogue

Esc.
 S/E



diseño Las pantallas que alojan las compuertas terminan en su extremo superior en vertedores, para derramar los volúmenes producidos por tormentas imprevistas durante la temporada de estiaje. En las figuras 3 y 4 se muestra la geometría de esta estructura para planta circular, mientras que en la fig. 1 se observa su ubicación.

Uno de los factores determinantes para seleccionar la geometría en planta de una caja de control lo constituye el procedimiento constructivo a emplear y los resultados de los estudios de mecánica de suelos. De la experiencia obtenida se recomienda el empleo de cajas de planta circular para profundidades mayores de 7.00 m, por la facilidad constructiva y la sustancial economía en el empleo de las dovelas usadas en la construcción de ésta y de otras estructuras que componen el drenaje profundo.

En zonas con terreno firme y poco profundas, es recomendable el empleo de cajas de sección rectangular, pero en cada caso se debe realizar una revisión técnico - económica para determinar cuál de las dos opciones es mejor.

La ubicación de la caja de control depende, en gran parte, del procedimiento constructivo. Por ejemplo, si el procedimiento se efectúa con escudo excavador, es necesaria una lumbrera cercana a la caja de derivación, que puede utilizarse para colocar la caja de control en ese caso, ésta posee una sección circular en planta. Por lo anterior, el colector madrina semiprofundo se alojaría aguas abajo de la caja de control. La operación de la caja de control en este caso, permite un alivio prácticamente inmediato del colector principal; además de que la ubicación de la misma obliga a establecer una política de operación basada en la observación directa del comportamiento del flujo en el colector principal.

Si el colector madrina se construye con excavación a cielo abierto, la ubicación de la caja de control puede ser en la misma lumbrera constructiva, o bien alejada de ésta y cercana a la de derivación. El último caso es operativamente adecuado, pero los asentamientos pueden modificar la pendiente del colector madrina, por lo que deben tomarse en cuenta en el diseño de la caja de control y de la geometría del colector.

Si se plantea la ubicación de la caja de control cerca de la lumbrera constructiva, siempre es más aconsejable que se construya dentro de la misma, a fin de hacer independiente el funcionamiento de la caja de los posibles asentamientos del terreno. Esta solución, sin embargo, produce una descarga de la caja muy cerca de la lumbrera adosada, pudiendo presentarse zonas de separación del flujo de las paredes verticales y crear pérdidas por la expansión brusca de la sección. En estas condiciones, el comportamiento no afecta la condición del flujo en el canal de transición o de llamada.

Canal de transición. - En la figura 1 se muestra una posibilidad de ubicación del canal de transición. Este, visto en elevación, posee dos tramos con perfil de fondo distinto. El primero ubicado aguas abajo del último juego de compuertas, consiste en una losa horizontal, cuyas dimensiones dependen del tamaño de la lumbrera adosada. Su función consiste en dar sustentación a la lámina de agua de la descarga proveniente de las compuertas. Aguas abajo del tramo anterior, el perfil es de forma circular por facilidad constructiva (figura 2).

La función de esta parte del canal de transición es la de concentrar gradualmente el flujo al ancho de sección coincidente con el diámetro de la lumbrera adosada, así como también de realizar una conexión gradual de la cota de fondo del canal con la pared vertical de la misma.

La geometría del canal de transición debe asegurar que el perfil del agua no se despreque del

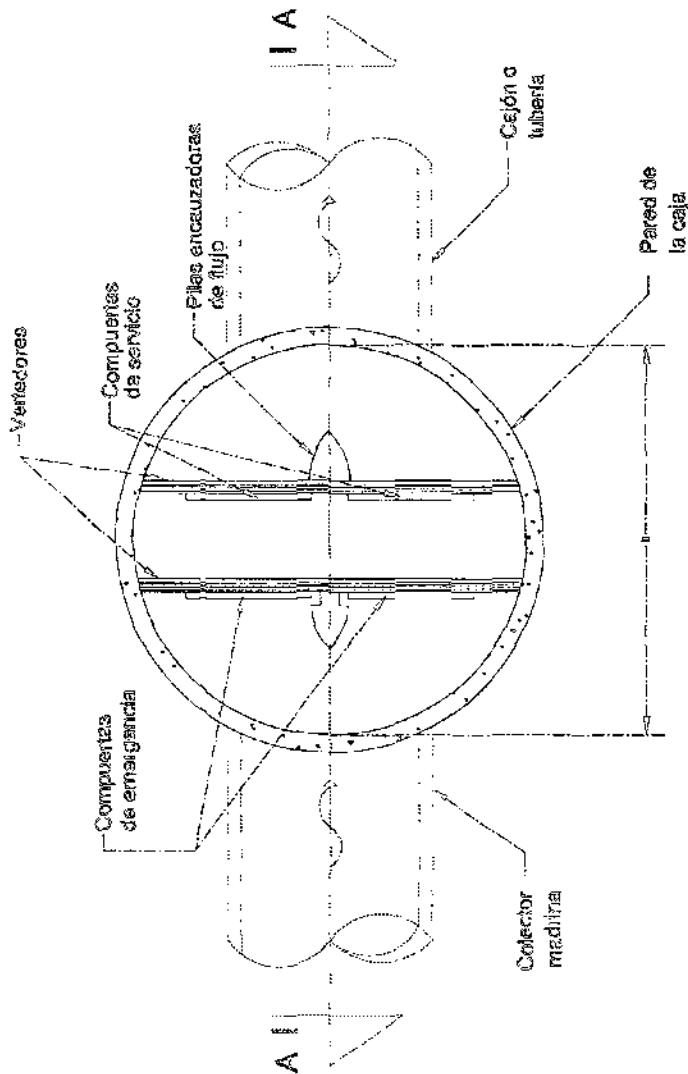


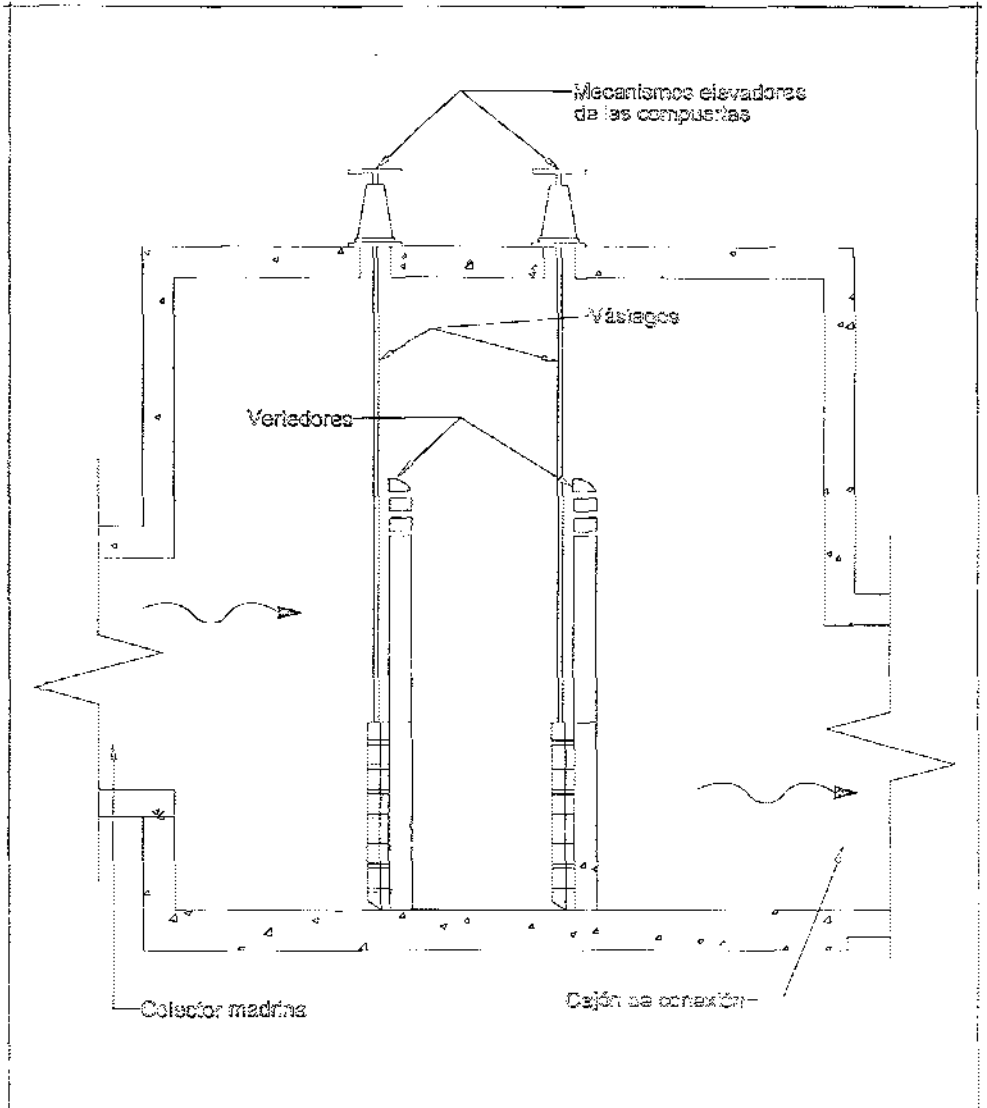
Figura No. 3 Caja de control de operación
Planta circular

Esc.

S/E



CINAM



UNAM

Figura No 4 Caja típica de control de operación. Corte vertical

fondo y las paredes, permaneciendo adherido hasta después de la caída vertical. Con ello, la entrada de aire al interior del flujo sólo se lleva a cabo por la parte superior del perfil del agua, introduciéndose a la lumbrera adosada por el espacio libre dejado entre el chorro y la pared opuesta de la lumbrera.

Lumbrera adosada. - Este elemento se inicia donde termina la caja de control o el colector madrina, existiendo en este caso el canal de transición con la pared vertical de la lumbrera como se indica a la figura 1. Aguas abajo, la lumbrera adosada continúa hasta el fondo de la constructiva, desde el cual, y a niveles cercanos al mismo, se colocan los conductos de descarga; en las primeras lumbreras construidas se colocaban en el fondo las dos ventanas por las que salía el flujo hacia el vertedor.

Las dimensiones de la lumbrera adosada deben permitir que la caída del flujo se adhiera a su pared, en una cámara en espiral o con ranura vertical, o que este caiga sin provocar problemas al choque con la pared de enfrente en el caso de caída libre o escalonada, de modo que permita la entrada de aire evitando problemas de succión.

Dependiendo de la magnitud del gasto y condición de descarga en el túnel profundo, se forma un almacenamiento del líquido dentro de la lumbrera, que realiza dos funciones primordiales: la primera consiste en eliminar la cantidad de energía no utilizable al obligar al choque con el almacenamiento. Con ello, la energía no se disipa totalmente, utilizando parte de ella y la carga que se forma en la lumbrera para descargar el gasto a través de los tubos de desfogue o el vertedor. Esta última constituye la segunda de las dos funciones.

Dadas las características del tipo de descarga, la presencia de aire durante la operación provoca el llenado y vaciado periódico de la estructura, razón por la cual se produce una oscilación del nivel del agua en la lumbrera adosada.

Es importante mencionar que al momento de iniciar la descarga hacia la lumbrera, el impacto del agua contra el fondo resulta ser mayor que la carga estática del agua, sin embargo, con el aumento del gasto y del nivel de almacenamiento, la magnitud del impacto tiende a parecerse al valor de la carga estática del agua.

Se ha observado que la magnitud del impacto de la caída tiende a decrecer si se aumenta el diámetro de la lumbrera. Este comportamiento también depende de la ubicación y dimensión de los conductos de desfogue que a continuación se describen.

Tubos de desfogue. - La descarga de la lumbrera al túnel profundo se produce a través de uno o dos conductos horizontales, ubicados en la parte más baja de la lumbrera adosada. En la figura 2 se puede observar la diferencia en el diámetro de los orificios, así como las alturas a las que se colocan.

La función del orificio más pequeño, de diámetro D_1 , es de formar un pequeño colchón que disipe parte de la energía producida por la caída de gastos pequeños, antes de iniciarse la descarga a través del orificio más alto, de diámetro D_2 , con gastos mayores.

En la obtención de las características propias de la geometría de la lumbrera adosada y de la disposición de los orificios, se ha procurado eliminar a las zonas con posibilidades de azolvamiento; sin embargo, se recomienda que la elevación del primer conducto sea 0.50 m arriba de la plantilla del túnel, con objeto de amortiguar la energía de caída con gastos muy pequeños que no alcanzan a llenar el conducto inferior, simplificando además la intersección de este conducto y la media sección inferior del túnel profundo.

Como muestran las figuras 1 y 2, la ubicación del o los conductos de desfogue permiten concentrar la descarga en cualquier punto y dirección que se desee, siendo más propio ubicarlos abajo de la cota superior del túnel profundo y en dirección a la región central de su sección. Es importante señalar, que la zona de la lumbrera adosada en la que se alojan los tubos de desfogue, es la de mayor riesgo de falla estructural, debido a la presión dinámica que se genera por el impacto del agua contra el fondo.

Estructura amortiguadora. - La estructura amortiguadora en la parte baja de la lumbrera consta de una losa de fondo receptora, dos orificios o ventanas en la parte baja de la lumbrera y un vertedor que descarga finalmente el agua al drenaje profundo (figura 5). La altura del vertedor hace que se forme un "cochón" de agua en el fondo, sobre el cual cae el agua dentro de la lumbrera; los orificios tienen por objeto producir velocidades altas en la salida para provocar turbulencias que eviten la acumulación del azolve. Es importante mencionar que esta estructura se ha dejado de utilizar por el uso de los tubos de desfogue y en las lumbreras en que se utilizó se ha estado haciendo el acondicionamiento a tubos de descarga.

Túnel de drenaje profundo. - Esta es la estructura que se encarga a llevar las aguas negras hacia el portal de salida para su disposición final, este túnel varía en su diámetro de 3.00 a 6.50 m y se encuentra a diferentes profundidades, variando de 10.00 a 217.00 m. El drenaje profundo está formado por diferentes interceptores y emisores (descritos en el 1^{er} capítulo), los cuales a todo su largo van recibiendo las descargas de los colectores y ríos ubicados en la superficie por medio de las lumbreras adosadas, aunque en algunos casos se tienen lumbreras que son exclusivamente para captación sin que se utilizaran por motivos de construcción, en las diferentes figuras se observa la ubicación del túnel.

Lumbrera constructiva. - Las lumbreras constructivas son los accesos a los túneles, estructuras gigantescas que alcanzan profundidades variables entre los 15 y 220 m, de sección circular y de tal diámetro que por ella pueda descender la maquinaria, extraer los materiales excavados, y suministrar los que se van a utilizar en la construcción; además de ser el acceso del hombre para trabajar en la construcción de los túneles del drenaje profundo, en ella se aloja la lumbrera adosada. En la figura 1 y 2 se indican estas estructuras.

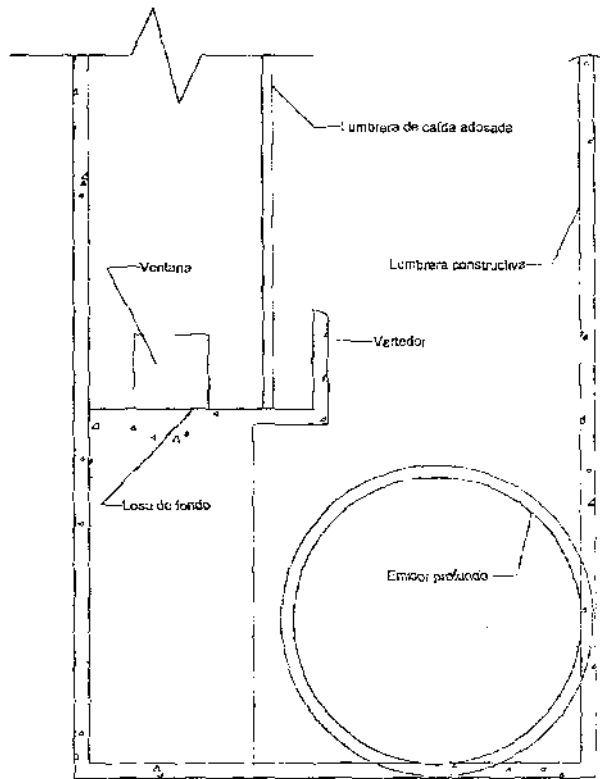
2.2 Obras de captación al drenaje profundo

Desde el punto de vista hidráulico se han proyectaron diferentes tipos de conexiones, desde las cámaras en espiral hasta las caídas libres, pasando por estructuras que escalonan en varios tramos la caída de agua. En el presente trabajo se abordan la geometría de las cinco captaciones utilizadas en la construcción del Drenaje Profundo:

- » Cámara en espiral con estructura amortiguadora.
- » Caída con diafragmas, escalones o en cascada.
- » Caída libre con tubos de desfogue.
- » Caída libre con estructura amortiguadora.
- » Caída con ranura vertical y tubos de desfogue.

A continuación se describe cada una de estas lumbreras.

Cámara en espiral con estructura amortiguadora. - La cámara en espiral es una estructura



CORTE VERTICAL



UNAS

Figura No 5. Estructura amortiguadora
Tesis profesional

Cap. II Geometría de las captaciones

Esc.

S/E

19

que encauza el agua, desde el colector superficial, hasta la lumbrera vertical, de tal manera que forme un vórtice y el agua se adhiera a las paredes de la lumbrera (figuras 6 y 7). De esta forma, resulta una estructura hidráulicamente muy eficiente, porque el aire en el centro del vórtice no permite el ahogamiento dentro de la lumbrera. Sin embargo, tiene el inconveniente de que el colector de alimentación si puede llegar a ahogarse.

La estructura amortiguadora, es la descrita antes (mediante muro vertedor). En la figura 6 se muestra un esquema de este tipo de conexión.

Caída con diafragmas, escalones o en cascada. - En la figura 8 se observa una lumbrera tipo caída libre, con diafragmas, escalones o en cascada. Esta estructura permite la caída del agua en forma libre rompiendo o disipando por medio de los diafragmas, la energía que tiene el agua en la caída. Esta estructura se dejó de utilizar debido a que se observaron en su funcionamiento algunos inconvenientes como son: la posible obturación de los orificios en los diafragmas y vulnerabilidad de la estructura a los impactos de materiales transportados por el flujo, la estructura resultaba sensible al grado de esviamiento entre el colector madrina y el tubo de descarga, etc., por lo que fue necesario plantear otro tipo de solución:

Caída libre con tubos de desfogue y caída libre con estructura amortiguadora. - En la figura 9 se muestra este tipo de caída, y se presenta con tubos de desfogue, para el caso de muro vertedor, se tiene una estructura amortiguadora como la mostrada en la fig. 5.

La estructura permite conducir los gastos de avenida, generados por las precipitaciones pluviales, hacia una lumbrera adosada vertical. Esta última posee, en su extremo inferior, uno o dos orificios o dos tubos de desfogue en otro caso, con la capacidad necesaria para descargar el gasto de diseño, formando un colchón de amortiguamiento que rompe gran parte de la energía de caída del agua.

A pesar de que la caída libre resulta la estructura más atractiva, no siempre se puede utilizar, ya que en algunas ocasiones el funcionamiento hidráulico impide la inclusión de aire abajo del chorro que sustituya al arrastrado por la corriente; así se forman zonas de baja presión que pueden provocar oscilaciones en el chorro, bajando su eficiencia de descarga. Aunque este fenómeno se podría evitar con conductos que permitieran airear la zona bajo el chorro, el costo de la obra aumentaría, por lo que se pierde parte de su atractivo.

En las conexiones al drenaje profundo, el nivel del agua antes de llegar al tubo vertical condiciona los gradientes hidráulicos en los colectores superficiales, por lo que repercute en la eficiencia general de los sistemas de drenaje captados. Por esta razón, es de gran importancia cuidar el ahogamiento en la descarga.

En general, cuando se requiere un funcionamiento hidráulico más eficiente en la lumbrera de caída, se deberá seleccionar una cámara de entrada en espiral o una caída de ranura vertical; pero para un mejor funcionamiento de la red de alcantarillado superficial, será preferible diseñar una caída libre. En la práctica, para caídas superiores a los 20 m se han utilizado cámaras en espiral; sin embargo, se encontró que en la caída libre las presiones en la losa de fondo de la estructura amortiguadora no son importantes, por tanto, es preferible usar la caída libre como conexión.

Usualmente, la lumbrera o tubo de caída contaba con un muro vertedor al drenaje profundo en vez de los tubos de desfogue. Esta estructura consta de dos ventanas en la parte inferior que permiten la salida del agua hacia el tanque amortiguador; en muchas ocasiones, se puede

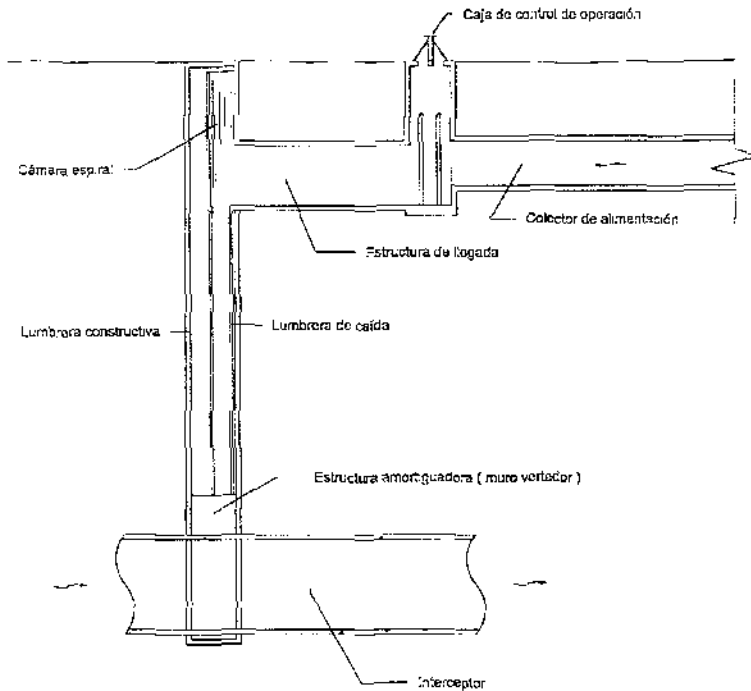
disminuir la altura de caída del agua obligando a que tome carga el tubo vertical. Lo anterior se logra reduciendo el área de las ventanas, pero esa disminución en el área hidráulica tiene un límite, ya que las velocidades en los orificios podrían ser altas y causarían problemas en la estructura amortiguadora.

Caída mediante ranura vertical. - Con esta obra se elimina la cámara en espiral y se sustituye por un canal de transición gradual, que busca introducir el agua de modo eficaz a la lumbrera. También elimina el tanque intermedio de disipación y la caída libre desde el muro vertedor, y lo sustituye por los conductos horizontales del extremo inferior.

Esta obra introduce el agua en el extremo superior de una lumbrera vertical, mediante dos muros guía del flujo de aproximación tangencial a su pared y una ranura vertical cortada sobre la curva de dicha pared, equivalente al arco circular de un cuadrante del perímetro; esto es, un ángulo central de 90° . Los muros mencionados forman un canal rectangular de ancho b , adecuado a las necesidades de un flujo de aproximación en un colector madrina; hidráulicamente se tiene una mayor eficiencia si el muro interior, no el tangencial, forme un ángulo de 45° con la línea paralela al muro tangencial, encauzando mejor el flujo hacia la ranura. En la figura 10 se muestra la planta y perfil de este tipo de captación.

El diseño propuesto produce al inicio de la caída en la lumbrera un efecto de vórtice, similar al de la cámara en espiral, y genera el mismo flujo helicoidal, con las ventajas que éste tiene. Esto es, produce un núcleo de aire estable también similar, que permite la autoventilación de la caída, propicia un flujo libre del riesgo de oscilaciones y de la condición de llenado total.

Sistema de conexión al drenaje profundo mediante cámara en espiral



CORTE VERTICAL



Figura No 6 Cámara en espiral

Tesis profesional

UNAM

Cap. II Geometría de las captaciones

Esc

S/E

22

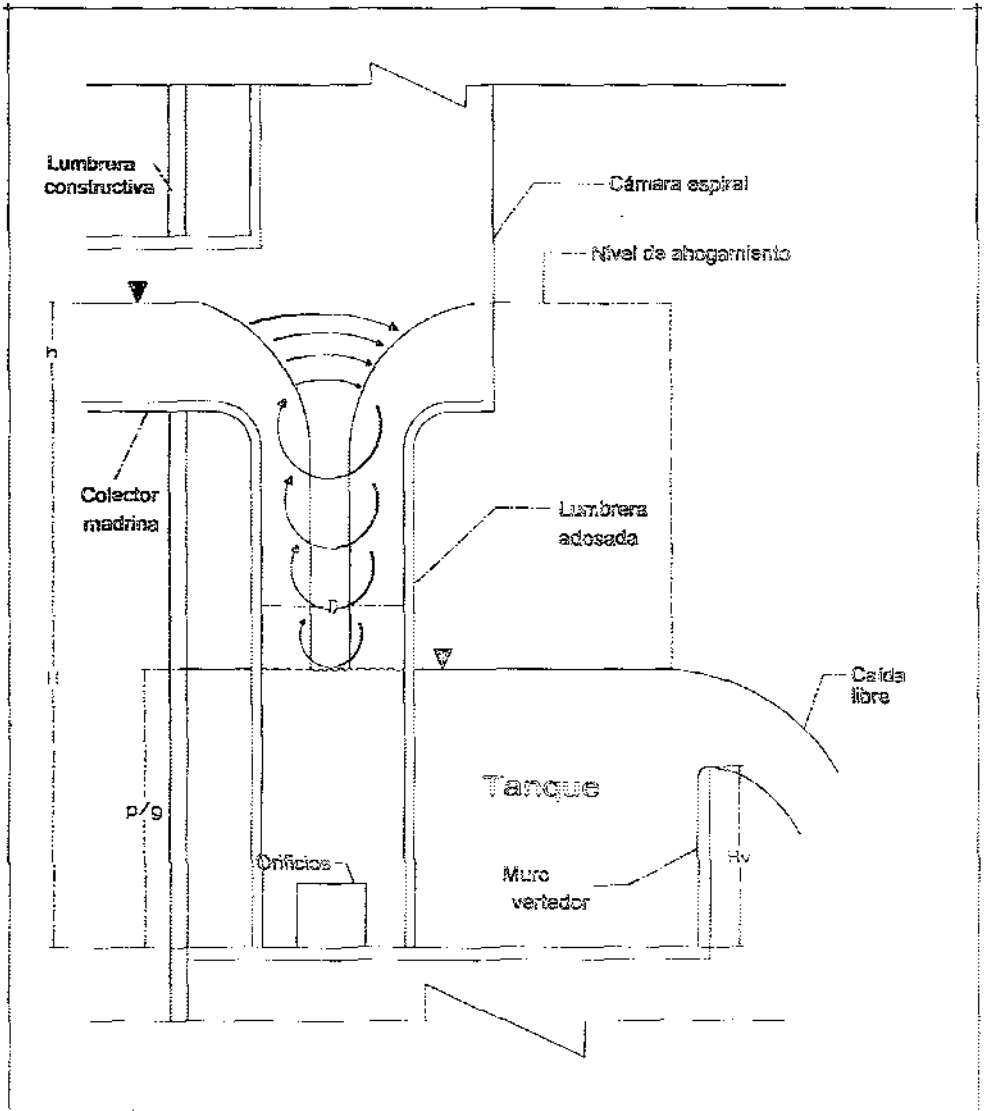


Figura No 7. Cámara en espiral
Corte vertical

Esc.
S/E

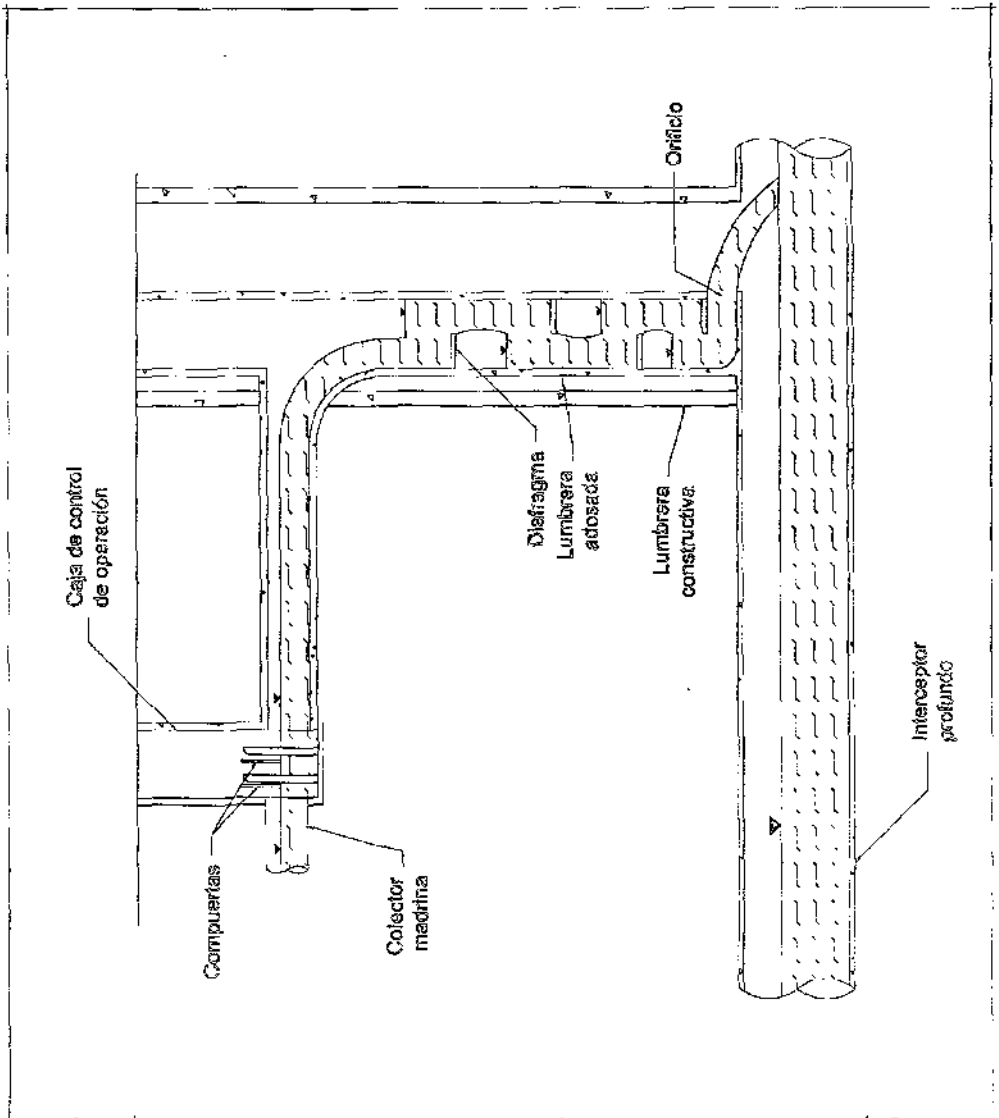
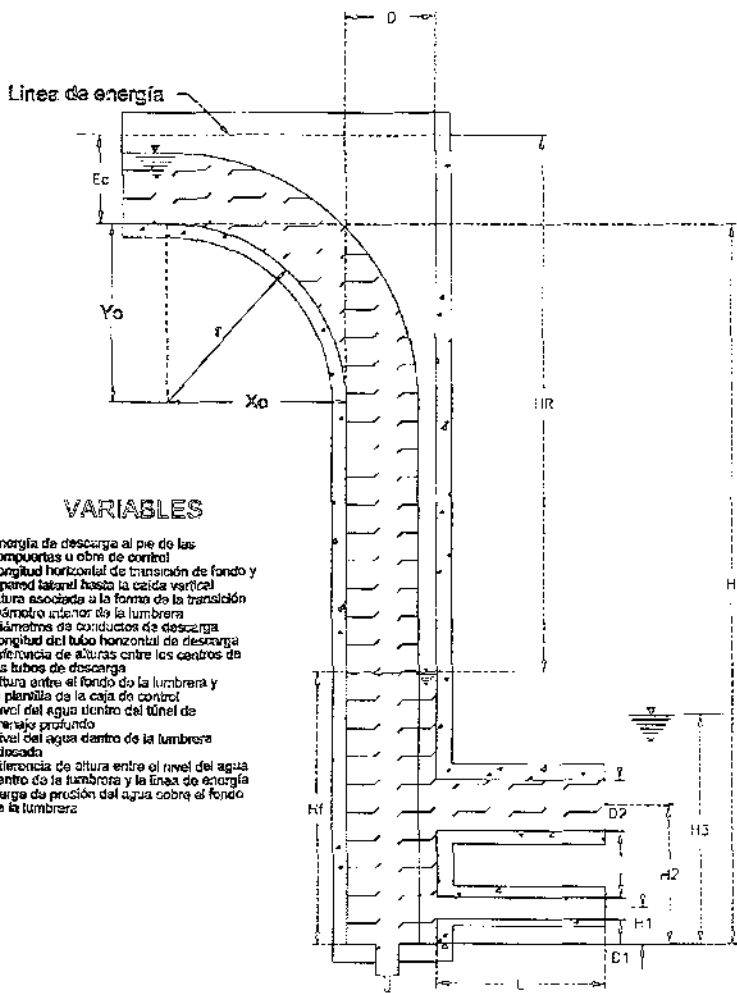


Figura No. 8. Conexión mediante
Caída escalonada

Esc.

S/E

UNAM



VARIABLES

- Ec Energía de descarga al pie de las compuertas u obra de control
- X0 Longitud horizontal de transición de fondo y pared lateral hasta la caída vertical
- Yo Altura asociada a la forma de la transición
- D Diámetro interior de la lumbrera
- D2, D1 Diámetros de conductos de descarga
- L Longitud del tubo horizontal de descarga
- H2-H1 Diferencia de alturas entre los centros de los tubos de descarga
- H Altura entre el fondo de la lumbrera y la planilla de la caja de control
- H3 Nivel del agua dentro del túnel de drenaje profundo
- Hf Nivel del agua dentro de la lumbrera adosada
- HR Diferencia de altura entre el nivel del agua dentro de la lumbrera y la línea de energía
- pq Carga de presión del agua sobre el fondo de la lumbrera



UNAM

Figura No 9. Conexión mediante
Caída libre y tubos de desfogue

Esc.

S/E

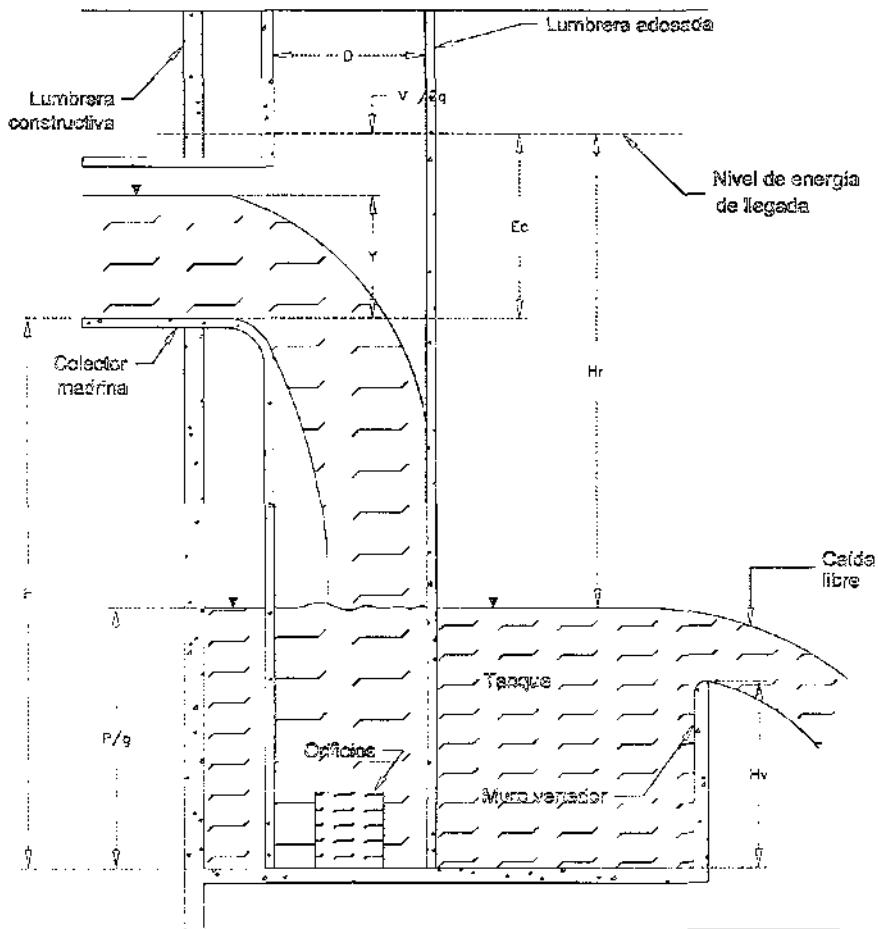
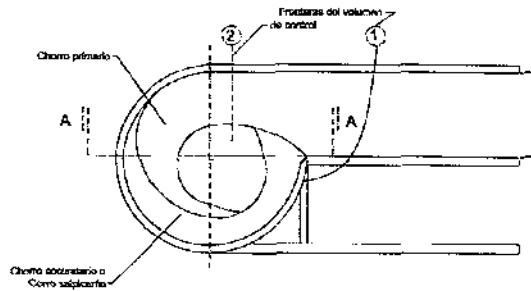


Figura No 10. Conexión mediante
Caída libre y muro vertedor

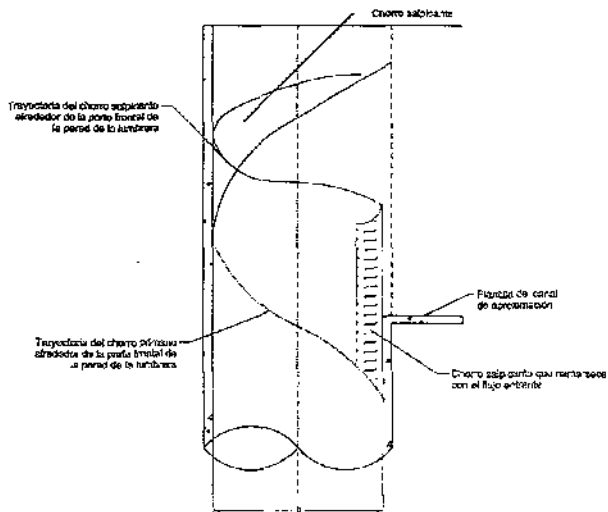
Esc.

S/E





PLANTA



SECCION A - A



UNAM

Figura No 11 Conexión mediante ranura vertical

3. – FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Inicialmente en este capítulo se presenta el desarrollo de las condiciones, consideraciones y metodología para el diseño de estructuras de caída con tubos de desfogue al drenaje profundo, esto se hace debido a que prácticamente no se conoce este tema y es necesario conocerlo para una mejor comprensión del trabajo que aquí se presenta, además de que dos de los ejemplos numéricos que se presentan posteriormente se basan en este sistema de conexión al drenaje profundo.

Posteriormente se presentan tres ejemplos numéricos de los tipos de captación tratados en el presente trabajo (caída libre con tubos de desfogue al drenaje profundo, ranura vertical con tubos de desfogue al drenaje profundo y cámara en espiral con estructura amortiguadora), para ello se toman los datos de las captaciones siguientes: captación del colector Río Churubusco en la lumbrera 1 del Interceptor Oriente, captación del colector Apatlaco en la lumbrera No. 2 del interceptor oriente y la captación Cuicilahuac del interceptor central.

En estos ejemplos se hace uso de algunos de los datos de los proyectos ya construidos y con ellos se desarrolla los cálculos posteriores, estos datos fueron recopilados en algunos casos de las memorias originales, en otros casos no coinciden con los reales o actuales por las modificaciones que se han hecho a través del tiempo.

Los ejemplos numéricos antes mencionados, se presentan con el fin de aclarar la secuela de cálculo expuesta. Debe tenerse en cuenta que el diseño de cada conexión es un caso diferente y que, por tanto, los ejemplos que aquí se presentan pueden considerarse como una guía general y no como una secuencia rígida de pasos de cálculo.

Se usa la metodología enunciada al principio del capítulo para el diseño de la lumbrera adosada y de los tubos de desfogue al drenaje profundo. Para el análisis posterior, se hace uso de la hidráulica convencional, esta es la que es la hidráulica de canales, por lo que ya no se explican en detalle la metodología empleada.

Algunos de los resultados obtenidos no coinciden con las memorias u otros resultados que se pudieran obtener al hacer los cálculos, debido a los criterios tomados y a que el autor no tiene la experiencia necesaria en el manejo de todas las variables que afectan estos proyectos. En muchos casos están basados en experiencias de otros grupos o personas, como son los operadores del drenaje profundo (DGCOH), o de laboratoristas, pero no en su totalidad por lo que se pueden presentar errores u omisiones.

3.1 Procedimiento de diseño

3.1.1 Consideraciones previas.

Es importante mencionar que el buen diseño de una captación del tipo aquí considerando, no depende solo del criterio de cálculo propuesto, sino también de la selección de la magnitud de aquellas variables que, no siendo hidráulicas, dependen de otros aspectos. Estos podrían ser el constructivo, facilidad de acceso, espacio disponible, etc., que pueden acotar o condicionar a la mejor solución hidráulica, transformándola en otra, a veces más adecuada desde el punto de vista práctico. Como siempre, aquí el buen juicio del proyectista permite llegar a la mejor solución.

En la aplicación del criterio que aquí se propone, se considera el gasto de diseño como un dato

de importancia fundamental, por lo que es conveniente que sea lo más confiable posible. Por tanto cualquier estudio o intento de precisar su magnitud y reducir las posibilidades de riesgo por daños en caso de ser superado redundará en una mayor seguridad en la operación de la estructura.

El diseño geométrico de la lumbrera adosada, así como de los tubos de desfogue, debe permitir que la descarga hacia la lumbrera constructiva no ahogue el nivel de plantilla al inicio del canal de transición para las condiciones de diseño y, a su vez, que el colector madrina puedan ser revisados conjuntamente y de manera independiente al de la lumbrera adosada.

3.1.2 Ubicación de estructuras.

Como se ha indicado, la ubicación de la caja de control depende más de aspectos de operación y constructivos de la obra, que de las variables hidráulicas involucradas. Dentro o fuera de la lumbrera constructiva, la elección del sitio de la caja reviste importancia fundamental en la disponibilidad de espacio para la ubicación de la lumbrera adosada.

Esta lumbrera debe quedar alojada preferentemente en la parte de lumbrera constructiva que disponga de mayor espacio, en uno u otro lado del túnel profundo, de manera que los tubos de desfogue queden cubiertos una longitud mínima de 1.5 veces el diámetro de la lumbrera adosada, antes de su sección final. Con esto, se asegura que los tubos de desfogue trabajen totalmente llenos, que no constituyan un obstáculo al flujo en el túnel y que su descarga sea mejor dirigida al punto deseado.

La dirección de descarga de los tubos de desfogue no podrá ser perpendicular a la del flujo del túnel profundo, ya que esto provocaría nuevamente el remanso en el mismo, que se ha tratado de evitar. Es más bien recomendable que se dirija a un punto comprendido entre el centro del túnel y la pared en que se ubica la lumbrera adosada.

Por otra parte, al definir la ubicación de la lumbrera adosada, la longitud del canal de transición queda sujeta a la forma de llegada del colector madrina, a la posición y diámetro de la lumbrera adosada y a la profundidad de la clave del túnel profundo.

Los trabajos experimentales relativos al funcionamiento del canal de transición son aún limitados, por lo que solo puede decirse que su longitud y radio de curvatura están sujetos a la disponibilidad de espacio. En caso de disponer de espacio, es aconsejable que la longitud del canal de transición sea la mayor posible y el radio de curvatura, no menor de 4.5 veces el diámetro de la lumbrera adosada. En los casos en que la caja de control se aloje dentro de la lumbrera constructiva se deberá proporcionar al canal de transición una longitud de 5.5 veces el diámetro de la lumbrera adosada, con el fin de dar sustentación al perfil de flujo aguas abajo de la compuerta y evitar su despegamiento.

3.1.3 Selección del arreglo lumbrera - orificios de desfogue.

Las variables consideradas conocidas en el procedimiento son las siguientes:

H desnivel entre la rasante del túnel profundo y la plantilla de la caja de control, en m.

Qd gasio de diseño, en m^3/s .

Ec energía de descarga al pie de las compuertas o en la sección de inicio del canal de

transición, en m.

D_t diámetro interior del túnel profundo, en m.

V velocidad máxima permisible de descarga en el desfogue, en m/s. Puede aceptarse igual a 7 m/s para concreto de una resistencia de 250 kg/cm².

H_3 tirante del agua en el túnel profundo, Emisor m.

Las variables desconocidas son:

D diámetro de la umbrera adosada, en m.

D_2 diámetro del orificio principal, en m.

D_1 diámetro del orificio menor, en m. Puede considerarse el valor mínimo de D_1 como de 0.45 m y no mayor de 0.61 m.

H_1 altura desde la rasante del túnel profundo al centro del orificio de desfogue menor, en m. Puede considerarse lo siguiente:

$$0.50 \text{ m} + D_1 / 2 \geq H_1 \geq D_1 / 2$$

H_2 carga estática del agua dentro de la lumbreira adosada, en m.

Los resultados experimentales han sido presentados para distintos grados de ahogamiento de los tubos de desfogue, relacionados directamente con el valor del tirante de salida, expresado en términos del diámetro del túnel.

El diseño hidráulico de la estructura debe realizarse considerando al túnel del drenaje profundo lleno, o sea con H_3 igual al diámetro del mismo. Una vez obtenido el diseño geométrico, las curvas adimensionales para descarga ahogada permiten la revisión estructural para esas condiciones.

3.1.4 Procedimiento de diseño

El procedimiento de diseño consiste en los pasos siguientes.

- Obtención de un valor preliminar del diámetro D_2 considerando como velocidad máxima de descarga (v), al valor de 7 m/s, así como también el del diámetro D_1 igual a 0.45 m, de manera que ambos conductos descarguen el gasto de diseño. Un valor recomendable de H_1 es de $0.50 \text{ m} + D_1 / 2$, pero puede ser $D_1 / 2$ si el proyectista lo considera más conveniente.

Para la descarga ahogada, el orificio equivalente de área A_0 es igual a

$$A_0 = A_1 + A_2 \quad (3.1)$$

Por tanto:

$$D_2 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi V} - D_1^2} \quad (3.2)$$

El diámetro D_2 puede obtenerse de la ec. 3.2. Si este diámetro resulta menor de 2.44 m, se debe ajustar al valor comercial inmediato superior. En caso contrario, se usará el calculado, toda vez que ya no será necesario que se ajuste a ningún tamaño comercial.

El diámetro de la lumbrera adosada D , se propone igual a D_2 como condición mínima de solución.

- b) Determinación del diámetro equivalente D_0 para los valores de D_1 y D_2 seleccionados.

Si se conocen los valores de A_1 y A_2 de las expresiones:

$$A_1 = \frac{\pi \times D_1^2}{4} \quad \text{y} \quad A_2 = \frac{\pi \times D_2^2}{4}$$

a partir de la ec 3.1 se determina a A_0 . Resulta entonces que D_0

$$D_0 = \sqrt{\frac{4A_0}{\pi}} \quad (3.3)$$

que corresponde al diámetro de un orificio equivalente utilizado como un artificio de cálculo.

- c) Cálculo del coeficiente de descarga. Conocidos H , E_c y el valor de la profundidad del agua en el túnel profundo y considerando que $H_3 = D_1$, el coeficiente de descarga es:

$$C_d = \frac{Q}{A_0 \sqrt{2g(H + E_c - H_3)}} \quad (3.4)$$

- d) Obtención del parámetro adimensional: DH_2 / D_0^2 . Se debe tener en cuenta que H_2 puede llegar a ser el valor de $D_1 / 2$, verificando además que la clave del conducto superior quede por abajo de la clave superior del túnel profundo. De no cumplirse lo anterior, el valor de H_2 y H_1 se ajustarán, a fin de acomodar el arreglo dentro del diámetro del túnel profundo, permitiendo en todo caso que la rasante de D_1 quede al nivel de la rasante del túnel profundo.
- e) Determinación del parámetro adimensional CdH_2 / D_0 . Para ello se utilizan los valores de Cd , H_2 y D_0 calculados previamente.
- f) Utilización de las curvas adimensionales. Con los parámetros anteriores se entra a la fig. 3.4 de la referencia 5, donde la abscisa corresponde al parámetro CdH_2 / D_0 y el valor de DH_2 / D_0^2 se interpola, según sea el caso, obteniendo el valor del parámetro:

$$\phi = \sqrt{\frac{H + E_c - H_1}{H + E_c - H_3}} \quad (3.5)$$

$$\alpha = \frac{H_2 \sqrt{(H + E_c - H_3) \times (H + E_c - H_f)}}{H_f D_0} \quad (3.11)$$

Para este grado de avance en los cálculos, se conoce el arreglo del diseño, y también H_2 , D_0 y H_f , obtenidos en pasos anteriores. Se debe entonces considerar que estos valores toman en cuenta que el túnel profundo se encuentra lleno.

- n) Calculados los parámetros mencionados y dependiendo del valor que adquiere $DH_2 / (D_0)^2$, se utiliza la fig. 3.6 de la referencia 5. Para obtener el valor del número adimensional:

$$\theta = \frac{P/\gamma}{C_d H_f} \quad (3.12a)$$

- o) Se determina el valor de P/γ , despejándolo de la ec. 3.12 como sigue:

$$P/\gamma = C_d H_f \theta \quad (3.12b)$$

donde la unidad de la carga de presión es en metros de columna de agua.

En la mayoría de los casos, el valor de P/γ es muy cercano al de H_f , sin embargo, estos valores tienden a ser diferentes para gastos diferentes para gastos diferentes para gastos menores al de diseño, donde P/γ tiende a ser mayor que H_f .

Aunado al procedimiento anterior se debe agregar que:

- La lumbrera adosada debe ser construida hasta una altura máxima del nivel de compuertas totalmente abiertas, cuando la caja de control se construya dentro de la lumbrera constructiva.
- La transición vertical en la lumbrera adosada, de sección en D a circular, debe hacerse en una distancia mínima de un diámetro de la misma por lo que la longitud del canal de transición y el radio de la curva vertical quedará en función del desnivel entre la plantilla del canal de transición y la clave del túnel profundo.

3.1.5 Diseño del canal de transición.

Si la caja de control queda fuera de la lumbrera constructiva, la longitud del canal de transición queda en función del espacio disponible y de la altura de caída.

Si la longitud del canal de transición es mayor de $5.5 D$, se asegura un mejor encauzamiento del flujo a la lumbrera. Si no es posible cumplir la condición recomendada, el radio de curvatura se ajustará al espacio disponible en la altura de caída, debiendo cumplirse necesariamente que en la lumbrera adosada se tenga una transición vertical, de sección D a circular, de una vez el diámetro de lumbrera. En los casos en que el espacio de profundidad de lumbrera sea reducido, la transición vertical debe efectuarse arriba de la clave superior del túnel profundo.

3.2 Ejemplo numérico de caída libre, captación del colector Río Churubusco en la lumbrera 1 del interceptor Oriente

Se proyecta realizar la captación parcial del colector Río Churubusco hacia el interceptor Oriente, de manera que los escurrimientos sean introducidos al interceptor mediante una calda libre en la lumbrera adosada a la constructiva. La figura 1 muestra la disposición general del colector de red primaria y de la lumbrera adosada a la constructiva. Los estudios topográficos permitieron deducir que la cota de terreno al nivel de la calle es de 33.90 m y la elevación de plantilla del colector es de 25.336 m. Por otra parte, se sabe también que la elevación de la plantilla del interceptor es de 9.77 m y su diámetro interior de 5 m. la obra deberá ser diseñada para un gasto de 30 m³/s.

Resumen de datos:

Gasto de diseño:	Q = 30 m ³ /s
Sección del colector de alimentación:	rectangular
Pendiente del colector:	So = 0.005
Ancho de plantilla:	b = 3.0 m
Altura del cajón:	h = 3.0 m
Sección de la caja de control:	3.20 x 3.00 m
Elevación de la calle:	33.90 m
Elevación de la plantilla del colector, antes de su descarga a la lumbrera constructiva:	25.336 m
Elevación de la plantilla del interceptor:	9.77 m
Diámetro del interceptor:	5.00 m

Diseño geométrico

Valores preliminares de los diámetros de desfogue. De acuerdo a lo descrito, se propone que D₁ = 0.45 m, D₂ se obtiene de la ec. 3.2 como sigue:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 30}{\pi \cdot 7} - (0.45)^2} = 2.30 \text{ m}$$

Como el valor es muy cercano al máximo comercial de 2.44 m, por facilidad constructiva se toma este para D₂.

Determinación del diámetro equivalente con los valores seleccionados se tiene:

$$A_1 = \frac{\pi(0.45)^2}{4} = 0.159 \text{ m}^2 \quad A_2 = \frac{\pi(2.44)^2}{4} = 4.676 \text{ m}^2$$

$$\text{luego } A_o = 0.159 + 4.676 = 4.835 \text{ m}^2$$

de la ecuación 3.3 se obtiene el diámetro equivalente :

$$D_o = \sqrt{\frac{4(4.676 + 0.159)}{\pi}} = 2.481 \text{ m}$$

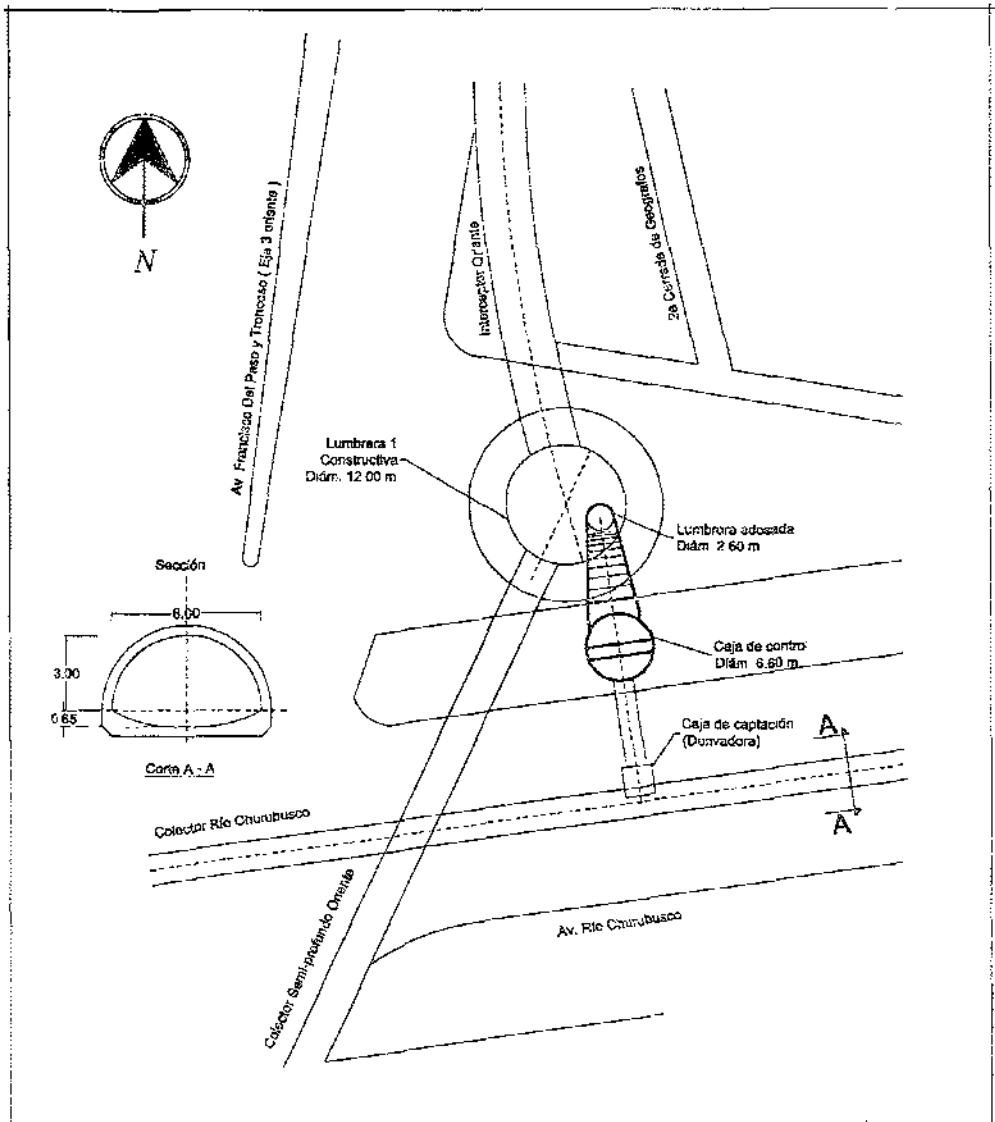


Figura No 1 Componentes de la captación en la lumbrera 1 del Interceptor Oriente

Esc. S/E 35



Cálculo del coeficiente de descarga. C_d queda definido por la ec 3.4 para descarga ahogada. Para ello se obtienen las restantes variables.

- a) Determinación de la altura de caída H . Se obtiene restando a la elevación de la plantilla del colector la correspondiente a la plantilla del interceptor profundo; esto es:

$$H = 25.336 - 9.77 = 15.566 \text{ m}$$

- b) Valor del tirante crítico Y_c . Debido a que la sección del colector de llegada es rectangular, el tirante crítico está dado por la expresión siguiente:

$$Y_c = \left[\frac{Q^2}{b^2 g} \right]^{1/3} \quad \text{sustituyendo valores, se tiene:} \quad Y_c = \left[\frac{30^2}{3^2 (9.81)} \right]^{1/3} = 2.168 \text{ m}$$

- c) Obtención de la energía específica mínima E_c . Para un canal rectangular, dicha energía está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{3}{2} Y_c, \quad \text{sustituyendo valores, se obtiene:} \quad E_c = \frac{3}{2} (2.168) = 3.252 \text{ m}$$

De la ec 3.4 resulta el valor de C_d :
$$C_d = \frac{30}{4.835 \sqrt{19.62(15.566 + 3.252 - 5)}} = 0.377$$

- Parámetro $\frac{DH_2}{(D_0)^2}$. Se propone que $H_2 = 2.5 \text{ m}$ y $H_1 = 0.225 \text{ m}$ y sustituyendo resulta que:

$$\frac{DH_2}{(D_0)^2} = \frac{2.44(2.5)}{2.481^2} = 0.991$$

- Parámetro $\frac{C_d H_2}{D_0}$. Este tiene el valor:
$$\frac{C_d H_2}{D_0} = \frac{0.377(2.5)}{2.481} = 0.380$$

- Utilización de las curvas adimensionales. Con los parámetros anteriores y el empleo de la figura 3.4 de la referencia 5, donde se interpola, el valor de $D H_2 / D_0$. Se obtiene el valor $\phi = 0.76$.

- Cálculo de H_f . Sustituyendo en la ecuación 3.6, resulta que:

$$H_f = 15.566 + 3.252 - (0.76)^2 (13.818) = 18.818 - 7.981 = 10.827 \text{ m}$$

Como el valor de H_f es de 0.698 H , menor que 0.8 H y mayor que 0.6 H , el arreglo propuesto es adecuado.

- Revisión del funcionamiento hidráulico para descarga libre. Con el arreglo propuesto se calcula el diámetro del orificio equivalente a partir de las ecs 3.7 y 3.8 como sigue:

$$A_0 = 4.676 + \sqrt{\frac{15.566 + 3.252 - 0.225}{15.566 + 3.252 - 2.5}} (0.159) = 4.85 \text{ m}^2$$

$$\text{Por tanto } D_0 = \sqrt{\frac{4(4.85)}{\pi}} = 2.484 \text{ m}$$

- Coeficiente de descarga para túnel que forza a descarga libre. Empleando la ec 3.9 se obtiene:

$$C_d = \frac{30}{4.85 \sqrt{19.62(16.318)}} = 0.346$$

Evaluación del parámetro ϕ . Para ello se calculan las relaciones adimensionales:

$$\frac{C_d H_2}{D_0} = \frac{0.346(2.5)}{2.48} = 0.349 \text{ y } \frac{D H_2}{(D_0)^2} = \frac{2.44(2.5)}{(2.48)^2} = 0.99$$

Con los parámetros anteriores y el empleo de la fig. 3.3 de la referencia 5 se determina el valor de $\phi = 0.70$.

Obtención de H_f para descarga libre. Con el valor de ϕ y el empleo de la ec 3.10, se obtiene que:

$$H_f = 18.818 - (0.82)^2 (18.818 - 2.5) = 18.818 - 7.846, \text{ por lo tanto } H_f = 7.846 \text{ m.}$$

Determinación del parámetro α . Definido por la ec 3.9 para la condición de descarga ahogada, este resulta:

$$\alpha = \frac{H_2 \sqrt{(H + E_c - H_3)(H + E_c - H_f)}}{H_f D_0} = \frac{2.5 \sqrt{(13.818)(18.818 - 7.846)}}{7.846(2.484)} = 1.26$$

Obtención del número adimensional θ . Con los parámetros calculados, se utiliza la fig. 3.6 de la referencia 5, obteniendo $\theta = 2.80$.

Determinación de la carga de presión en el fondo de la lumbrera adosada. Para ello se emplea la ec 3.11, como sigue:

$$\frac{P}{\gamma} = 0.346(7.846)(2.80) = 7.60 \text{ m}$$

Análisis del perfil hidráulico

Este análisis se realizará partiendo del punto de descarga a la lumbrera adosada hacia aguas arriba. Se considera alguna de las obras existentes para hacer el análisis

Considerando la losa de fondo existente para determinar el perfil del flujo entre las compuertas

y la descarga, se analizarán las condiciones de régimen crítico y normal, para ello se considera la transición (ancho variable de 3.00 a 2.44 m) y la variación de la pendiente. Como se mencionó arriba, se considera que la ecuación que define la losa en la transición es: $Y = 0.0625X^2$ de donde al derivar se obtiene la ecuación de la pendiente: $S_o = 0.125X$.

Se considera también que la pendiente en la caja de control es igual a la del colector madrina, esto es $S_o = 0.005$.

En la siguiente página se presenta la tabla de resultados y la gráfica de los perfiles calculados. Se considera que se presenta el perfil de los tirantes críticos (consideración hecha en el laboratorio de ingeniería experimental) por las condiciones del flujo. La variación de las pendientes a lo largo de la losa obliga a formación de secciones de control a lo largo de esta. La línea de energía que se presenta en dicha tabla pertenece a la condición crítica.

Perfil del agua en la caja de control. Para determinar este perfil, se considerarán dos compuertas en la caja de control de sección: 2.90 x 2.50 m totalmente abiertas, se supone un tirante $Y_{10} = 3.00$ m aguas arriba de la compuerta.

Con ayuda de la figura 4.3 del libro Manual de diseño hidráulico de cajas de planta circular para el control de caudales descargados al drenaje profundo, se tiene:

$$\frac{Y_{10}}{a} = \frac{3.00}{2.50} = 1.2 \quad \text{y de la figura mencionada, se tiene } C_d = 0.54$$

con la ecuación $Y = \frac{1}{2g} \left[\frac{Q}{C_d \times A} \right]^2$ sustituyendo valores

$$Y_{10} = \frac{1}{19.62} \left[\frac{30}{0.54 \times 2.9 \times 2.5} \right]^2 = 2.99 \text{ m} \quad \text{luego } Y_{10} = 2.99 \text{ m} \cong Y_{10} = 3.00 \text{ m}$$

para determinar el tirante en la sección 11 se tienen condiciones similares pero con descarga ahogada, aplicando la ecuación de la energía entre las secciones 11 y 10, se tiene:

$$Y_{11} + \frac{V_{11}^2}{2g} = Y_{10} + \frac{V_{10}^2}{2g} + hf + \Delta h \quad (A)$$

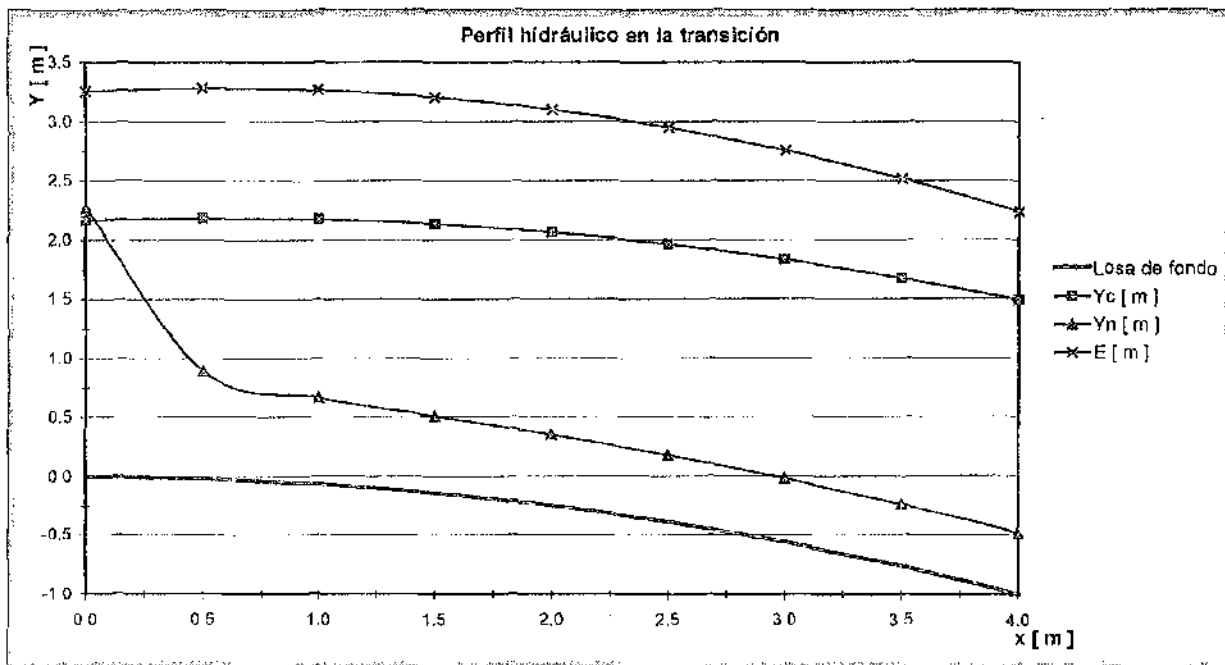
Δh : desnivel entre plantillas $L = 1.50$ m y $S_o = 0.005$ $\Delta h = 0.0075$ m

$$Y_{10} = 3.00 \text{ m} \quad \frac{V_{10}^2}{2g} = \frac{\left(\frac{30}{(3.00 \times 2.90)} \right)^2}{19.62} = 0.606 \text{ m}$$

para compuertas, la pérdida se puede calcular con $hf = hc = k \frac{Q^2}{2g \times A_c^2}$, donde k: coeficiente de pérdida por la compuerta, adimensional, se puede considerar igual a 0.5. sustituyendo valores se tiene:

Cálculo de tirantes críticos, normales y línea de energía en la descarga a la lumbrera 1 del Interceptor Oriente

Sección	X (m)	b (m)	Yc (m)	Stransición	Sc	nQ(So) ^{0.85}	Yn (m)	AR ^{2/3}	E [m]	Elementos de la gráfica				
										X (m)	Losa de fondo	Yn [m]	Yc [m]	E [m]
1	0.00	3.00	2.168	0.0050	0.0058	6.3639810	2.2703	6.3640	3.2524	0.00	0.00	2.27028	2.169	3.2524
2	0.50	2.93	2.203	0.0625	0.0058	1.8000000	0.9049	1.8000	3.2062	0.50	-0.02	0.88927	2.187	3.2805
3	1.00	2.86	2.238	0.1250	0.0058	1.2727922	0.7249	1.2728	3.3264	1.00	-0.06	0.68239	2.176	3.2639
4	1.50	2.79	2.276	0.1875	0.0061	1.0392305	0.6435	1.0392	3.3433	1.50	-0.14	0.50289	2.135	3.2027
5	2.00	2.72	2.315	0.2500	0.0063	0.8000000	0.5955	0.9000	3.3469	2.00	-0.25	0.34552	2.065	3.0969
6	2.50	2.65	2.355	0.3125	0.0065	0.8049845	0.5938	0.8050	3.3375	2.50	-0.39	0.17316	1.985	2.9469
7	3.00	2.58	2.398	0.3750	0.0067	0.7348489	0.5415	0.7348	3.3152	3.00	-0.56	-0.02095	1.835	2.7527
8	3.50	2.51	2.442	0.4375	0.0069	0.6803361	0.5255	0.6803	3.2802	3.50	-0.77	-0.24010	1.676	2.5145
9	4.00	2.44	2.488	0.5000	0.0072	0.6363961	0.5139	0.6364	3.2327	4.00	-1.00	-0.46611	1.488	2.2327



$$h_c = 0.5 \frac{30^2}{19.62 \times (2.50 \times 2.90)^2} = 0.436 \text{ m, sustituyendo estos valores en (A), se tiene:}$$

$$Y_{11} + \frac{V_{11}^2}{2g} = 3.00 + 0.606 + 0.4365 - 0.0075 = 4.035 \text{ m de donde se tiene:}$$

$$19.62Y_{11} + \left(\frac{30}{2.9Y_{11}}\right)^2 = 79.1667 \quad \text{ec. cuyas soluciones son:}$$

1) $Y_{11} = -1.037 \text{ m}$, 2) $Y_{11} = 1.454 \text{ m}$ y 3) $Y_{11} = 3.6184 \text{ m} \therefore$ se elige esta última por las

condiciones del flujo $Y_{11} = 3.618 \text{ m}$.

Se observa que al presentarse este tirante en la sección 11, el colector madrina trabajaría lleno, para evitar este problema es conveniente dejar una caída en la caja de control ($\Delta H = 1.00 \text{ m}$), con lo que tenemos un tirante a la descarga del colector $Y_{12} = 2.62 \text{ m}$.

Altura del muro vertedor en la caja de control. La altura del muro vertedor debe permitir el paso de un tercio del gasto de diseño (Diseño de estructuras de conexión al drenaje profundo, DGCOH, México, D.F.), para eliminarlo en caso de que las compuertas no pudieran ser abiertas oportunamente. La carga necesaria para que pase un gasto de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtiene de la ecuación:

$$H = \left[\frac{Q}{C_d \times L_c} \right]^{2/3} \quad \text{en donde } C_d = 2.181 \text{ y } L_c = 3.00 \text{ m, sustituyendo valores se tiene:}$$

$$H = \left[\frac{10}{2.181 \times 3.00} \right]^{2/3} = 1.327 \text{ m, la cota superior será:}$$

Cota = Nivel descarga + H compuerta + H muro vertedor + H sobre el vertedor

Cota = $25.336 + 2.50 + 2.50 + 1.327 = 31.663 \text{ m} < 33.90 \text{ m}$ en terreno natural, \therefore se considera

correcta la longitud de cresta del muro vertedor y la elevación de este.

El análisis dentro del colector madrina se realiza con el método de incrementos finitos considerando lo siguiente:

$Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$, $S_o = 0.005$, $Y_c = 2.168 \text{ m}$ $Y_n = 2.27 \text{ m}$, tirante en la descarga a la caja de control

$Y_{12} = 2.62 \text{ m}$, con estas condiciones tenemos: $Y > Y_n \Rightarrow S_o > S_f$ y $Y > Y_c \Rightarrow Fr < 1$, \therefore se tiene un perfil tipo M1, el cálculo es hacia aguas arriba partiendo del tirante $Y_{12} = 2.62 \text{ m}$. se tiene una longitud de desarrollo $L = 23.116 \text{ m}$. se proponen 9 secciones para este método y a continuación se presenta la tabla de resultados para el método. En la gráfica se observa el

perfil del agua y la línea de la energía.

Finalmente se presenta una tabla resumen del perfil hidráulico, el arreglo final y el perfil hidráulico de la estructura.

Sección	Tirante [m]	Energía
1	2.488	1.233
2	2.442	1.749
3	2.398	2.190
4	2.355	2.558
5	2.315	2.847
6	2.276	3.062
7	2.238	3.201
8	2.203	3.285
9	2.168	3.252
10	3.000	3.606
11	3.618	4.035
12	2.620	3.363
13	2.610	3.358
14	2.600	3.354
15	2.591	3.350
16	2.581	3.346
17	2.571	3.342
18	2.561	3.338
19	2.552	3.334
20	2.542	3.331

Cálculo de trantes-distancias por el método de incrementos finitos para el colector madrina

Datos:

Q = 30 m³/s
 b = 3 m
 So = 0.005
 z = 0
 n = 0.015

Cálculo del trante normal

Cálculo del trante crítico

Se obtiene:

Vn = 2.270 m
 A = 6.811 m²
 P = 7.541 m
 R = 0.903 m
 V = 4.405 m
 Qn/S^{1/2} = 6.3640 m
 Q²/g = 91.7431193
 Yc = 2.158 m

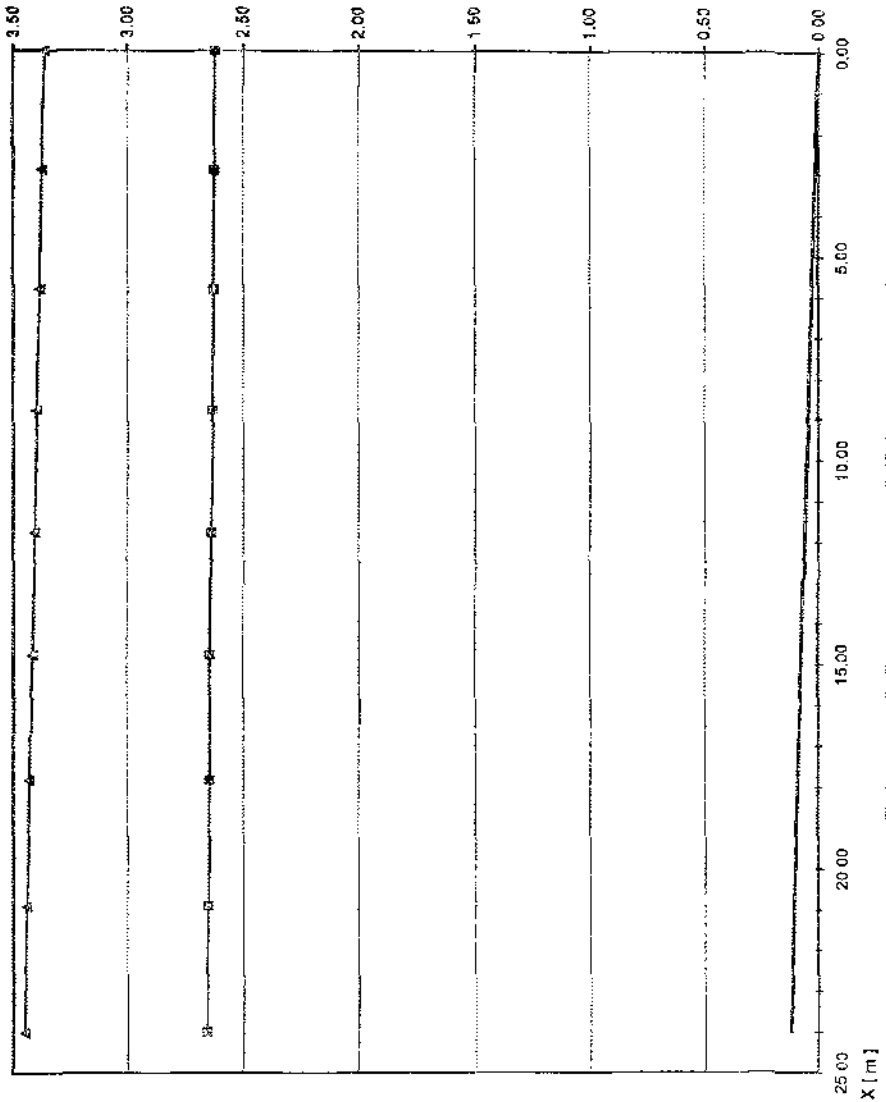
Y [m]	A [m ²]	R ^{2/3}	AR ^{2/3}	V [m/s]	Yc [m]	Ac [m ²]	Ac ³	Bc [m]	Ac ³ /Bc
0.40	1.2000	0.464	0.556	25.000	1.30	3.9000	59.3180	3	19.7730
0.60	1.8000	0.568	1.023	16.667	1.400	4.2000	74.0860	3	24.6860
0.80	2.4000	0.648	1.565	12.500	1.50	4.5000	91.1250	3	30.3750
1.00	3.0000	0.711	2.134	10.000	1.600	4.8000	110.5920	3	36.8640
1.20	3.5000	0.763	2.747	8.333	1.70	5.1000	132.6510	3	44.2170
1.40	4.2000	0.806	3.387	7.143	1.800	5.4000	157.4640	3	52.4880
1.60	4.8000	0.843	4.047	6.250	1.90	5.7000	185.1930	3	61.7310
1.80	5.4000	0.875	4.724	5.556	2.000	6.0000	216.0000	3	72.0000
2.00	6.0000	0.902	5.414	5.000	2.10	6.3000	250.0470	3	83.3480
2.20	6.6000	0.927	6.115	4.545	2.200	6.6000	287.4960	3	95.8320
2.30	6.9000	0.938	6.470	4.348	2.1683	6.5048	275.2294	3	91.7431
2.27	6.8108	0.934	6.364	4.405					

Para el método, se consideran:

Yi = 2.62 m
 Yf = 2.54 m

Yi [m]	A [m ²]	P [m]	Rh	Rh ^{2/3}	V [m/s]	V ² /2g [m]	E [m]	Sf	Sf media	ΔX [m]	X [m]	Plantilla
2.620	7.86	8.24	0.95	0.97	3.82	0.74	3.36	0.0034908		0.00	0.00	0.0000
2.610	7.83	8.22	0.95	0.97	3.83	0.75	3.36	0.0035245	0.0035076	2.91	2.91	0.0146
2.600	7.80	8.20	0.95	0.97	3.85	0.75	3.35	0.0035567	0.0035416	2.94	5.85	0.0292
2.590	7.77	8.18	0.95	0.97	3.86	0.76	3.35	0.0035934	0.0035760	2.96	8.81	0.0440
2.580	7.74	8.16	0.95	0.97	3.88	0.77	3.35	0.0036286	0.0036110	2.98	11.79	0.0590
2.569	7.71	8.14	0.95	0.96	3.89	0.77	3.34	0.0036643	0.0036464	3.01	14.80	0.0740
2.559	7.68	8.12	0.95	0.96	3.91	0.78	3.34	0.0037005	0.0036824	3.04	17.84	0.0892
2.549	7.65	8.10	0.94	0.96	3.92	0.78	3.33	0.0037372	0.0037186	3.07	20.90	0.1045
2.5391	7.62	8.08	0.94	0.96	3.94	0.79	3.33	0.0037744	0.0037556	3.10	24.000	0.1200

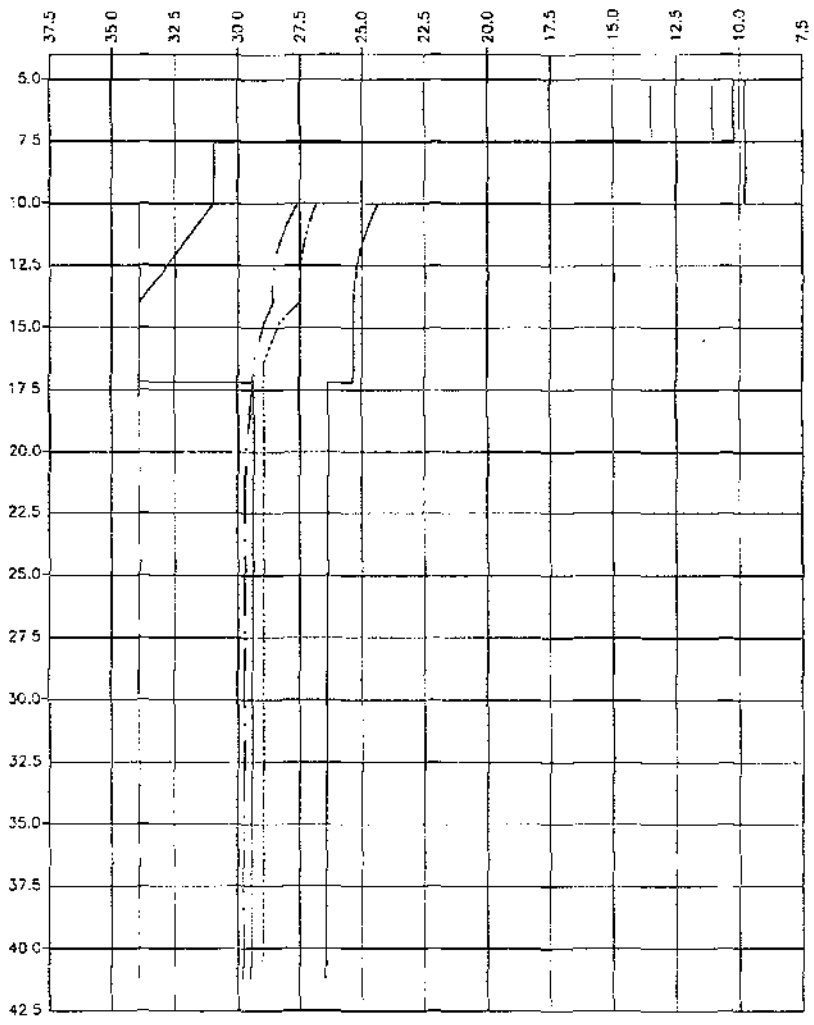
Perfil hidráulico del colector maquina



Plantilla

Y [m]

X [m]



——— TERRENO NATURAL
 - - - - - ESTRUCTURA DE CAPTACION
 - - - - - LINEA DE ENERGIA
 - - - - - PERFIL HIDRAULICO



UNAM

Perfil general de la Lumbra 1 del IO

ESCALA HORIZONTAL 1 : 200
 ESCALA VERTICAL 1 : 200

Esc.
 INDICADA

3.3 Ejemplo numérico de ranura vertical, captación del colector Apatlaco en la lumbrera No. 2 del Interceptor Oriente

Esta captación se encuentra ubicada en la esquina que forman la avenida Francisco del Paso y Troncos (Eje 3 oriente) y la avenida Apatlaco. Los estudios topográficos permitieron deducir que la cota de terreno al nivel de la calle es de 33.125 m y la elevación de plantilla del colector es de 20.229 m. Por otra parte, se sabe también que la elevación de la plantilla del Interceptor es de 9.376 m y su diámetro interior de 5 m. la obra deberá ser diseñada para un gasto de 15 m³/s.

Resumen de datos:

Gasto de diseño:	Q = 15.0 m ³ /s
Lumbrera constructiva:	φ _{int} = 12.00 m
Nivel de terreno de la lumbrera constructiva:	Elev. 33.125 m
Nivel de terreno de la lumbrera constructiva:	Elev. 20.229 m
Lumbrera adosada:	φ _{int} = 2.44 m
Interceptor oriente:	φ _{int} = 5.00 m
Nivel de plantilla del Interceptor oriente:	Elev. 9.376 m
Tubo de desfogeo	φ _{int} = 1.83 m
Caja de control con compuertas de:	2.00 x 2.00 m
Colector madrina:	φ _{int} = 2.44 m
Longitud:	L = 25.40 m
Pendiente	So = 0.002
Colector Apatlaco:	φ _{int} = 4.00 m
Pendiente colector Apatlaco:	So = 0.0005848

Diseño geométrico

Valores preliminares de los diámetros de desfogeo. De acuerdo a lo descrito, se propone que D₁ = 0.45 m, D₂ se obtiene de la ec. 3.2 como sigue:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{\pi \cdot 7} - (0.45)^2} = 1.589 \text{ m}$$

Como el valor es muy cercano al comercial de 1.83 m, por facilidad constructiva se toma este para D₂.

Determinación del diámetro equivalente con los valores seleccionados se tiene:

$$A_1 = \frac{\pi(0.45)^2}{4} = 0.159 \text{ m}^2 \qquad A_2 = \frac{\pi(1.83)^2}{4} = 2.63 \text{ m}^2$$

$$\text{luego } A_0 = 0.159 + 2.63 = 2.789 \text{ m}^2$$

de la ecuación 3.3 se obtiene el diámetro equivalente :

$$D_0 = \frac{4(2.789 + 0.156)}{\pi} = 1.94 \text{ m}$$

Cálculo del coeficiente de descarga. Cd queda definido por la ec 3.4 para descarga ahogada. Para ello se obtienen las restantes variables.

d) Determinación de la altura de caída H. Se obtiene restando a la elevación de la plantilla del colector la correspondiente a la plantilla del interceptor profundo; esto es.

$$H = 20.229 - 9.376 = 10.853 \text{ m}$$

e) Valor del tirante crítico Yc. Debido a que la sección del colector de llegada es rectangular, el tirante crítico está dado por la expresión siguiente:

$$Y_c = \left[\frac{Q^2}{b^2 g} \right]^{1/3} \quad \text{sustituyendo valores, se tiene:} \quad Y_c = \left[\frac{15^2}{2^2 (9.81)} \right]^{1/3} = 1.79 \text{ m}$$

f) Obtención de la energía específica mínima Ec. Para un canal rectangular, dicha energía está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{3}{2} Y_c \quad \text{sustituyendo valores, se obtiene.} \quad E_c = \frac{3}{2} (1.79) = 2.685 \text{ m}$$

De la ec 3.4 resulta el valor de Cd:
$$Cd = \frac{15}{2.789 \sqrt{19.62(10.53 + 2.685 - 5)}} = 0.42$$

-Parámetro $\frac{DH_2}{(D_0)^2}$. Se propone que $H_2 = 2.5 \text{ m}$ y $H_1 = 0.225 \text{ m}$ y sustituyendo resulta que:

$$\frac{DH_2}{(D_0)^2} = \frac{1.83(2.5)}{1.94^2} = 1.22$$

-Parámetro $\frac{CdH_2}{D_0}$. Este tiene el valor: $\frac{CdH_2}{D_0} = \frac{0.42(2.5)}{1.94} = 0.54$

- Utilización de las curvas adimensionales. Con los parámetros anteriores y el empleo de la figura 3.4 de la referencia 5, donde se interpola, el valor de $D H_2 / D_0$. Se obtiene el valor $\phi = 0.73$.

- Cálculo de Hf. Sustituyendo en la ecuación 3.6, resulta que:

$$H_f = 10.853 + 2.685 - (0.73)^2 (10.853 + 2.685 - 5) = 13.538 - 4.548 = 8.99 \text{ m}$$

Como el valor de Hf es de 0.83 H, mayor que 0.8 H se proponen nuevos diámetros de desfogue, $D_2 = 2.13 \text{ m}$ y $D_1 = 0.45 \text{ m}$. las nuevas áreas y el diámetro equivalente son:

$$A_1 = \frac{\pi(0.45)^2}{4} = 0.159 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi(2.13)^2}{4} = 3.563 \text{ m}^2$$

luego $A_0 = 0.159 + 3.563 = 3.722 \text{ m}^2$ luego: $D_0 = \sqrt{\frac{4(3.722)}{\pi}} = 2.177 \text{ m}$

El coeficiente de descarga, de la ec 3.4 es: $C_d = \frac{15}{3.722 \sqrt{19.62(10.853 + 2.685 - 5)}} = 0.31$

el parámetro $\frac{C_d H_2}{D_0}$ tiene el valor: $\frac{C_d H_2}{D_0} = \frac{0.31(2.5)}{2.177} = 0.36$

y el parámetro $\frac{D H_2}{(D_0)^2}$ tiene el valor: $\frac{D H_2}{(D_0)^2} = \frac{2.13(2.5)}{(2.177)^2} = 1.12$

De la fig. 3.4, se tiene el valor de $\phi = 0.84$, sustituyendo en la ec 3.6 se obtiene que:

$$H_f = 10.853 + 2.685 - (0.84)^2 (10.853 + 2.685 - 5) = 13.538 - 6.024 = 7.514$$

$$\frac{H_f}{H} = \frac{7.514}{10.853} = 0.69$$

Luego, como el valor de H_f es menor que $0.8 H$ y mayor que $0.6 H$, el arreglo propuesto es adecuado.

- Revisión del funcionamiento hidráulico para descarga libre. Con el arreglo propuesto se calcula el diámetro del orificio equivalente a partir de las ecs 3.7 y 3.8 como sigue:

$$A_0 = 3.563 + \sqrt{\frac{10.853 + 2.685 - 0.225}{10.853 + 2.685 - 2.5}} (0.159) = 3.736 \text{ m}^2$$

Por tanto $D_0 = \sqrt{\frac{4(3.736)}{\pi}} = 2.18 \text{ m}$

- Coeficiente de descarga para túnel que fuerza a descarga libre. Empleando la ec 3.9 se obtiene:

$$C_d = \frac{15}{3.722 \sqrt{19.62(10.853 + 2.685 - 2.5)}} = 0.274$$

Evaluación del parámetro ϕ . Para ello se calculan las relaciones adimensionales:

$$\frac{CdH_2}{D_0} = \frac{0.274(2.5)}{2.18} = 0.31 \text{ y } \frac{DH_2}{(D_0)^2} = \frac{2.13(2.5)}{(2.18)^2} = 1.12$$

Con los parámetros anteriores y el empleo de la fig. 3.5 de la referencia 5 se determina el valor de $\phi=0.85$.

Obtención de h_f para descarga libre. Con el valor de ϕ y el empleo de la ec 3.10, se obtiene que:

$$H_f = 10.853 + 2.685 - (0.85)^2(10.853 + 2.685 - 5) = 13.538 - 6.169, \text{ por lo tanto } H_f = 7.369 \text{ m.}$$

Determinación del parámetro α . Definido por la ec 3.9 para la condición de descarga ahogada, este resulta:

$$\alpha = \frac{H_2 \sqrt{(H + E_c - H_3)(H + E_c - H_f)}}{HFD_0} = \frac{2.5 \sqrt{(8.538)(13.538 - 7.369)}}{7.369(2.18)} = 1.13$$

Obtención del número adimensional θ . Con los parámetros calculados, se utiliza la fig. 3.6 de la referencia 5, obteniendo $\theta = 2.80$.

Determinación de la carga de presión en el fondo de la lumbrera adosada. Para ello se emplea la ec 3.11, como sigue:

$$\frac{P}{\gamma} = 0.27(7.369)(2.80) = 5.65 \text{ m}$$

Análisis del perfil hidráulico hacia aguas arriba de la descarga

Haciendo la misma consideración que en el ejemplo anterior, se calculan los tirantes normales y críticos en la zona de transición de la ranura y se dibuja el perfil más acorde al flujo.

La ecuación para determinar el perfil de la losa curva, será de la ecuación: $Y = \frac{X^2}{4KE}$, donde E es el valor de la energía antes de iniciar la caída en m. $E = 4.087 \text{ m}$ (considerando sección crítica en la caída) y K coeficiente adimensional igual a 1.5.

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, se tiene:

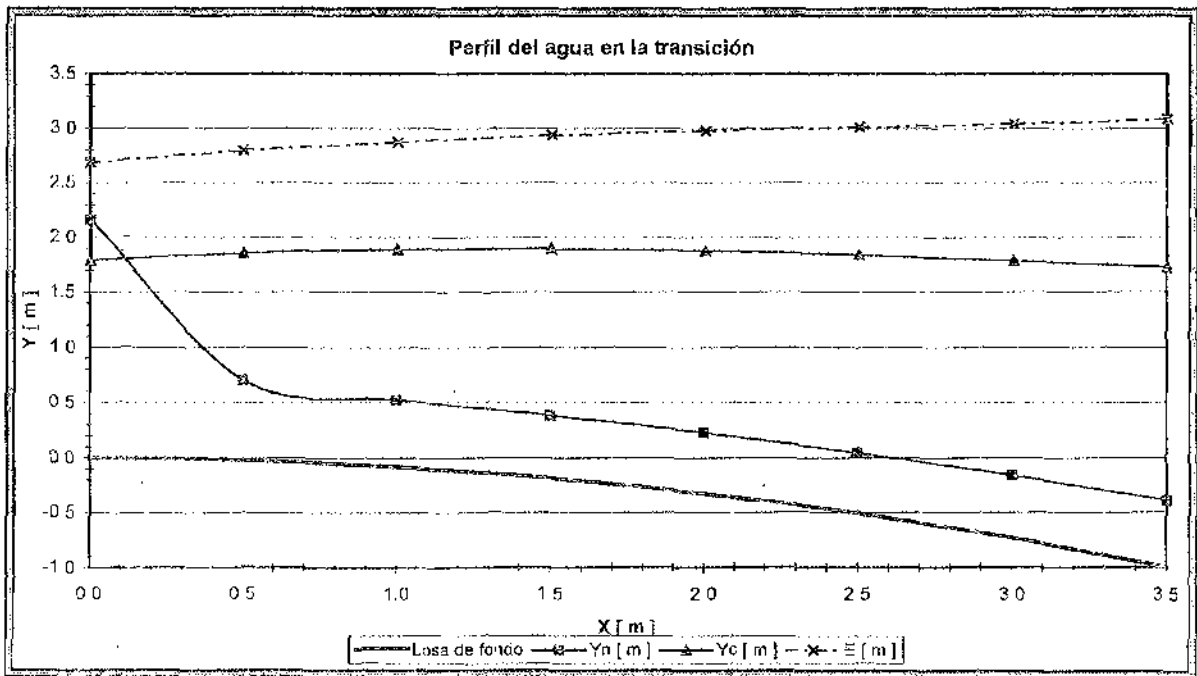
$$Y = \frac{X^2}{4 \times 1.5 \times 4.087} = \frac{X^2}{24.522} = 0.0408X^2, \text{ (derivando se obtiene la ecuación de la pendiente:}$$

$So = 0.0816X$), ahora se propone un escalón $\Delta H = 0.50 \text{ m}$, con lo que se tiene $X = 3.50 \text{ m}$.

En la siguiente página se presenta la tabla de resultados y la gráfica de los perfiles calculados. Se considera que se presenta el perfil de los tirantes críticos (consideración hecha en el laboratorio de ingeniería experimental) por las condiciones del flujo. La variación de las pendientes a lo largo de la losa obliga a formación de secciones de control a lo largo de esta. La línea de energía que se presenta en dicha tabla pertenece a la condición crítica.

Cálculo de tirantes críticos, normales y línea de energía en la descarga a la lumbrera 2 del Interceptor Oriente

Sección	X (m)	b (m)	Yc (m)	Stransición	Sc	nQ/(So) ^{0.5}	Yn (m)	AR ^{2/3}	E (m)	Elementos de la gráfica				
										X (m)	Losa de fondo	Yn (m)	Yc (m)	E (m)
1	0.00	2.00	1.790	0.0020	0.0032	3.3541	2.1610	3.3541	2.6848	0.00	0.00	2.16100	1.790	2.6848
2	0.50	1.87	1.875	0.0038	0.0036	0.7426	0.7239	0.7426	2.6118	0.50	-0.02	0.70349	1.854	2.7914
3	1.00	1.73	1.669	0.0816	0.0038	0.5251	0.6035	0.5251	2.9539	1.00	-0.08	0.52192	1.888	2.8723
4	1.50	1.60	2.078	0.1224	0.0042	0.4287	0.5616	0.4287	3.1167	1.50	-0.18	0.37802	1.894	2.9331
5	2.00	1.47	2.202	0.1632	0.0048	0.3713	0.5465	0.3713	3.3025	2.00	-0.33	0.22214	1.875	2.9761
6	2.50	1.33	2.347	0.2040	0.0056	0.3321	0.5535	0.3321	3.5204	2.50	-0.51	0.04354	1.937	3.0104
7	3.00	1.23	2.517	0.2448	0.0065	0.3032	0.5732	0.3032	3.7762	3.00	-0.73	-0.16124	1.783	3.0418
8	3.50	1.065	2.724	0.2856	0.0079	0.2807	0.6096	0.2807	4.0868	3.50	-1.00	-0.38995	1.725	3.0870



Perfil del agua en la caja de control. Para determinar este perfil, se considerarán dos compuertas en la caja de control de sección: 2.00 x 2.00 m totalmente abiertas y con descarga libre la primera, se supone un tirante $Y_9 = 2.50$ m aguas arriba de la compuerta.

Con ayuda de la figura 6.16 del libro Hidráulica General Vol. I del Ing. Sotelo, se tiene:

$$\frac{Y_9}{a} = \frac{2.50}{2.00} = 1.25 \quad \text{y de la figura mencionada, se tiene } C_d = 0.53$$

con la ecuación $Y = \frac{1}{2g} \left[\frac{Q}{C_d \times A} \right]^2$ sustituyendo valores

$$Y_9 = \frac{1}{19.62} \left[\frac{15}{0.53 \times 2.0 \times 2.0} \right]^2 = 2.55 \text{ m} \neq 2.50 \text{ m, ahora con } Y_9 = 2.55 \text{ m} \Rightarrow \frac{Y_9}{a} = \frac{2.55}{2.00} = 1.275$$

y de la figura mencionada, se tiene $C_d = 0.53$, sustituyendo valores

$$Y_9 = \frac{1}{19.62} \left[\frac{15}{0.53 \times 2.0 \times 2.0} \right]^2 = 2.55 \text{ m.} \therefore Y_9 = 2.55 \text{ m}$$

para determinar el tirante en la sección 10 se tienen condiciones similares pero con descarga ahogada, aplicando la ecuación de la energía entre las secciones 9 y 10, se tiene:

$$Y_{10} + \frac{V_{10}^2}{2g} = Y_9 + \frac{V_9^2}{2g} + hf + \Delta h \quad (A)$$

Δh : desnivel entre plantillas $L = 1.50$ m y $S_o = 0.002$ $\Delta h = 0.003$ m

$$Y_{10} = 2.55 \text{ m} \quad \frac{V_9^2}{2g} = \frac{\left(\frac{15}{(2.55 \times 2.00)} \right)^2}{19.62} = 0.44 \text{ m}$$

para compuertas, la pérdida se puede calcular con $hf = hc = k \frac{Q^2}{2g \times A_c^2}$, donde k: coeficiente de pérdida por la compuerta, adimensional, se puede considerar igual a 0.5. sustituyendo valores se tiene:

$$hc = 0.5 \frac{15^2}{19.62 \times (2.00 \times 2.00)^2} = 0.36 \text{ m, sustituyendo estos valores en (A), se tiene:}$$

$$Y_{10} + \frac{V_{10}^2}{2g} = 2.55 + 0.44 + 0.36 - .003 = 3.347 \text{ m de donde se tiene:}$$

$$19.62Y_{10} + \left(\frac{7.5}{Y_{10}}\right)^2 = 65.668 \quad \text{ec. cuyas soluciones son:}$$

1) $Y_{10} = -0.83 \text{ m}$, 2) $Y_{10} = 1.40 \text{ m}$ y 3) $Y_{10} = 3.04 \text{ m}$ ∴ se elige esta última por las

condiciones del flujo $Y_{10} = 3.04 \text{ m}$.

Se observa que al presentarse este tirante en la sección 10, el colector madrina trabajaría lleno, para evitar este problema es conveniente dejar una caída en la caja de control ($\Delta H = 0.80 \text{ m}$), con lo que tenemos un tirante a la descarga del colector $Y_{10} = 2.24 \text{ m}$.

Altura del muro vertedor en la caja de control. La altura del muro vertedor debe permitir el paso de un tercio del gasto de diseño (Diseño de estructuras de conexión al drenaje profundo, DGCOH, México, D.F.), para eliminarlo en caso de que las compuertas no pudieran ser abiertas oportunamente. En este caso la carga necesaria para que pase un gasto de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtiene de la ecuación:

$$H = \left[\frac{Q}{C_d \times L_c} \right]^{2/3} \quad \text{en donde } C_d = 2.181 \text{ y } L_c = 2.00 \text{ m, sustituyendo valores se tiene}$$

$$H = \left[\frac{5}{2.181 \times 2.00} \right]^{2/3} = 1.10 \text{ m, la cota superior será:}$$

Cota = Nivel descarga + H compuerta + H muro vertedor + H sobre el vertedor

Cota = $20.229 + 2.00 + 2.00 + 1.10 = 25.329 \text{ m} < 33.125 \text{ m}$ en terreno natural, ∴ se considera

correcta la longitud de cresta del muro vertedor y la elevación de este.

El análisis dentro del colector madrina se realiza con el método de incrementos finitos considerando lo siguiente:

$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$, $S_o = 0.002$, $n = 0.010$, $Y_c = 1.788 \text{ m}$, $Y_n = 1.994 \text{ m}$, $\Phi_{\text{colector madrina}} = 2.44 \text{ m}$, tirante en la descarga a la caja de control $Y_{10} = 2.24 \text{ m}$.

Con estas condiciones tenemos: $Y > Y_n \Rightarrow S_o > S_f$ y $Y > Y_c \Rightarrow Fr < 1$, ∴ se tiene un perfil tipo M1, el cálculo es hacia aguas arriba partiendo del tirante $Y_{10} = 2.24 \text{ m}$. se tiene una longitud de desarrollo $L = 25.40 \text{ m}$. se proponen 9 secciones para este método y a continuación se presenta la tabla de resultados para el método. En la gráfica se observa el perfil del agua y la línea de la energía.

Finalmente se presenta una tabla resumen del perfil hidráulico, el arreglo final y el perfil hidráulico de la estructura.

Sección	Tirante [m]	Energía
1	2.724	4.087
2	2.517	3.776
3	2.347	3.520
4	2.202	3.302
5	2.078	3.117
6	1.969	2.954
7	1.875	2.812
8	1.790	2.685
9	2.550	2.990
10	3.040	3.350
11	2.240	2.808
12	2.239	2.807
13	2.237	2.806
14	2.236	2.805
15	2.235	2.804
16	2.233	2.803
17	2.232	2.803
18	2.231	2.802
19	2.230	2.801

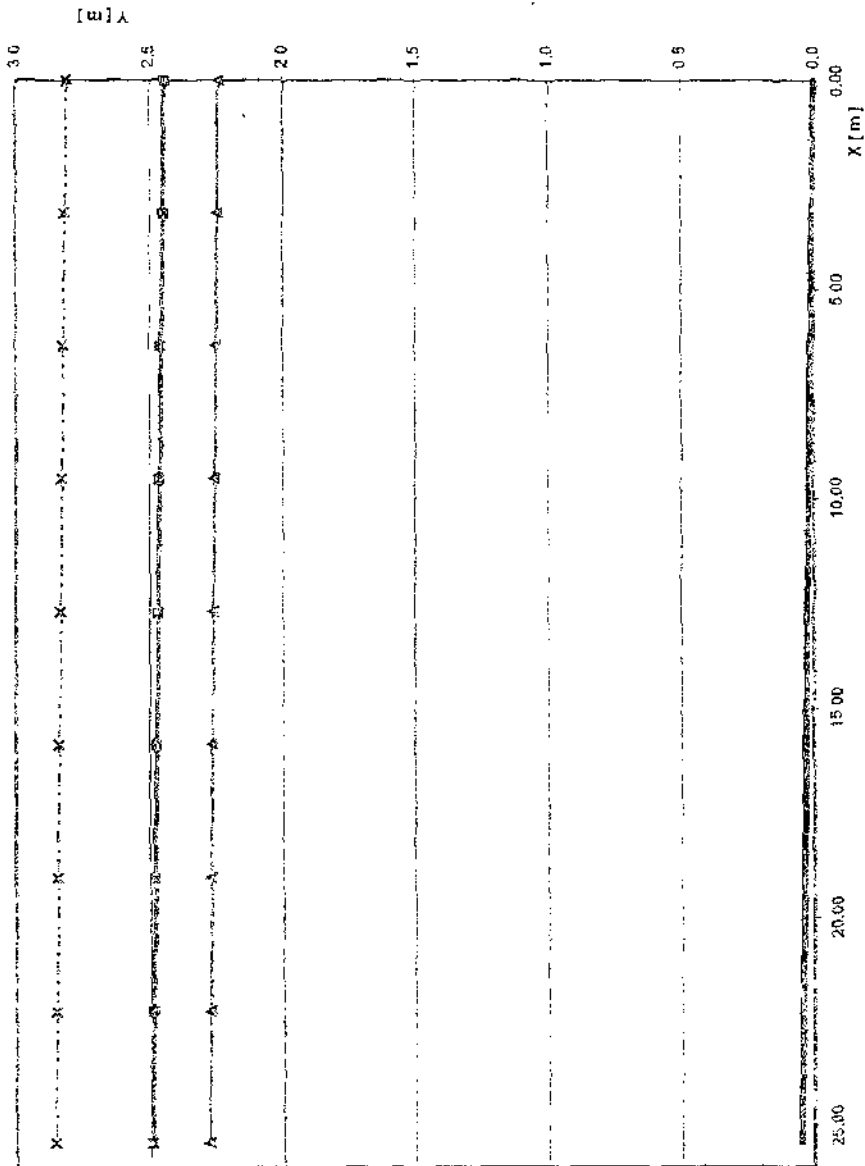
Cálculo de trantes distancias por el método de incrementos finitos para colector madrina de sección circular

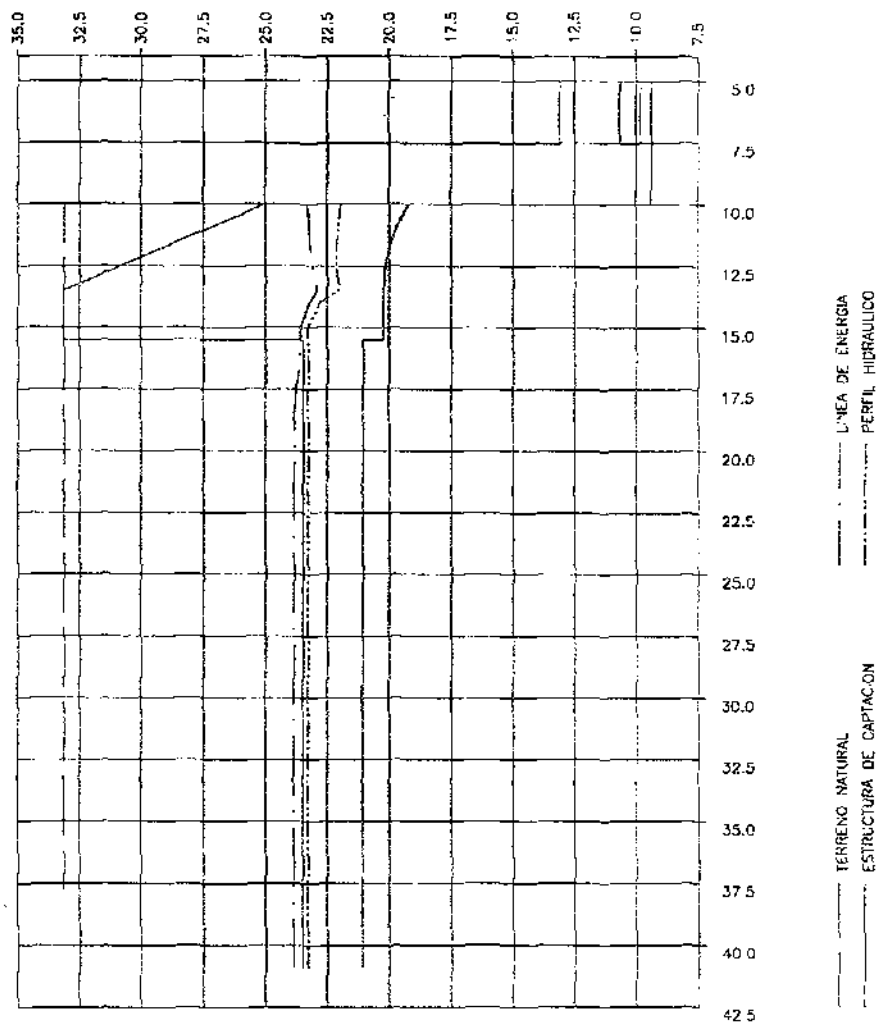
Datos:		Cálculo del tirante normal.				Cálculo del tirante crítico:						
Q =	15 m ³ /s	Y [m]	A [m ²]	P	R	AR ^{2/3}	V [m/s]	Yc [m]	Ac [m ²]	Ac ³	Bc [m]	Ac ³ /Bc
D =	2.44 m	0.50	0.6893	2.2925	0.301	0.309	21.762	0.25	0.2522	0.02	1.46	0.01
R =	1.22 m	0.75	1.2202	2.8578	0.425	0.690	12.293	0.50	0.6893	0.33	1.97	0.17
So =	0.0020	1.00	1.8041	3.3903	0.532	1.185	8.314	0.75	1.2202	1.82	2.25	0.81
n =	0.01	1.25	2.4112	3.8927	0.619	1.752	6.221	1.00	1.8041	5.87	2.40	2.45
Se obtiene:		1.50	3.0151	4.3978	0.686	2.344	4.975	1.25	2.4112	14.02	2.44	5.75
Yn =	1.994 m	1.75	3.5893	4.9293	0.728	2.905	4.179	1.50	3.0151	27.41	2.37	11.54
A =	4.09 m ²	2.00	4.1021	5.5252	0.742	3.363	3.657	1.75	3.5893	46.24	2.20	21.04
P =	5.51 m	1.99	4.0833	5.4993	0.742	3.348	3.674	2.00	4.1021	69.03	1.88	36.79
R =	0.74 m	1.994	4.0906	5.5094	0.742	3.354102	3.667	1.80	3.6979	50.57	2.15	23.56
V =	3.67 m							1.79	3.6764	49.69	2.16	23.03
T =	1.89 m							1.786	3.6723	49.52	2.16	22.836
Q n / S ^{1/2} =	3.3541 m											
Q ² /g =	22.93578											Q ² /g = 22.93578

Sección crítica.	Para el método, se consideran:	
Yc =	1.788 m	Yl = 2.240 m
Ac =	3.67 m ²	Yf = 2.2296 m
Vc =	4.08 m	
Rhc =	0.73 m	
Sc =	0.002528	

Yl [m]	A [m ²]	P [m]	Rh	Rh ^{2/3}	V [m/s]	V ² /2g [m]	E [m]	Sf	Sf media	ΔX [m]	X [m]
2.2400	4.4943	6.2486	0.719	0.803	3.34	0.57	2.81	0.0017285		0.00	0.00
2.2387	4.4928	6.2438	0.720	0.803	3.34	0.57	2.81	0.0017290	0.0017288	3.18	3.18
2.2374	4.4908	6.2390	0.720	0.803	3.34	0.57	2.81	0.0017295	0.0017293	3.18	6.35
2.2361	4.4891	6.2343	0.720	0.803	3.34	0.57	2.81	0.0017300	0.0017298	3.18	9.53
2.2348	4.4873	6.2296	0.720	0.804	3.34	0.57	2.80	0.0017306	0.0017303	3.17	12.70
2.2335	4.4855	6.2249	0.721	0.804	3.34	0.57	2.80	0.0017311	0.0017308	3.17	15.88
2.2322	4.4837	6.2203	0.721	0.804	3.35	0.57	2.80	0.0017316	0.0017314	3.17	19.05
2.2309	4.4820	6.2156	0.721	0.804	3.35	0.57	2.80	0.0017322	0.0017319	3.17	22.23
2.2296	4.4802	6.2109	0.721	0.804	3.35	0.57	2.80	0.0017328	0.0017325	3.17	25.40

Perfil del agua en el colector madrina





Perfil general de la Lumbreza 2 del IO

ESCALA HORIZONTAL 1 : 200
 ESCALA VERTICAL 1 : 200

Esc.
 INDICADA



3.4 Ejemplo numérico de cámara en espiral, captación Cuicláhuac en el Interceptor Central

3.4.1 Metodología de cálculo

Para el diseño de las cámaras en espiral, se consideran los resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Sotelo, 1971, referencia 4), estudio que permite determinar el diámetro de la lumbrera vertical, de acuerdo con las siguientes variables.

- g Aceleración de la gravedad, en m²/s.
- DI Diámetro de la lumbrera vertical, en m.
- H Tirante de agua por encima de la plantilla del colector de llegada, en m.
- Q Gasto de diseño por descargar al drenaje profundo, en m³/s.

El uso de los ejes de la figura 4.1 es indistinto; esto es, para un gasto de diseño dado, y un diámetro de lumbrera propuesto, puede hallarse el tirante, o bien, para una altura obligada y un diámetro de lumbrera propuesto, puede conocerse el gasto máximo por descargar.

Los puntos de la figura 4.1 (ref. 4) se obtuvieron para diámetros de colector D_c, entre diámetros de lumbrera DI, iguales a 1, 1.2, y 1.5, por lo que se recomienda que en los diseños, la relación entre ambos diámetros sea de 1 a 1.5. La geometría de la espiral se muestra en la figura 4.2 referencia 4.

A continuación se presenta la metodología que se usaba para el diseño de caídas libres, y que se utiliza para cámaras en espiral.

El aspecto más importante por considerar en el diseño de una lumbrera vertical es el ahogamiento del canal de alimentación. Para fines de diseño se supone que el ahogamiento se produce cuando las fluctuaciones de la carga de presión sobrepasan la plantilla de la estructura de llegada. Los cálculos correspondientes pueden hacerse con ayuda de las figuras 4.3 y 4.4, con las siguientes ecuaciones

$$P_{\frac{Q}{g}} = \left\{ \frac{Q}{g} \right\}^{0.4} \left\{ 1.596 \left(\frac{Hv}{DI} \right) + 0.805 \right\} \quad 4.1$$

$$Sp_{\frac{Q}{g}} = 0.417Hr \left\{ \frac{Q}{DI^{2.5} \sqrt{g}} \right\}^{1.51} \quad 4.2$$

donde:

- g Aceleración de la gravedad.
- DI Diámetro de la lumbrera, en m.
- Hv Altura del vertedor en la estructura amortiguadora, (figura 7) en m.

Hr caída de energía en el canal de alimentación hasta el nivel que alcanza la carga de presión media, en m (figura 7) puede calcularse como la altura de caída Hc más la energía específica mínima antes de la caída (tirante mas carga de velocidad), menos la carga de presión media calculada con la ec. 4.1.

Q Gasto de diseño en m³/s.

P/γ Carga de presión media sobre la losa de la estructura amortiguadora (figura 7) en m.

Sp/γ desviación estándar de las fluctuaciones de la carga de presión, en m

Al usar las ecs. 4.1 y 4.2, conviene siempre revisar que los parámetros adimensionales se encuentren dentro de los intervalos experimentales de las figuras 4.3 y 4.4.

Una tercera ecuación debe emplearse para obtener el nivel máximo promedio que alcanzan las fluctuaciones del agua en la caída,

$$p_{\gamma}^{\prime} = P_{\gamma}^{\prime} \pm K \frac{Sp}{\gamma} \quad 4.3$$

donde

K Coeficiente que depende del nivel de confianza que se quiera usar, en una distribución de probabilidades normal asignada a las fluctuaciones de la presión. Para el 90 % del nivel de confianza. K = 1.65; para el 95 % del nivel de confianza: K = 1.96.

P/γ Carga de presión media sobre la losa de la estructura amortiguadora (figura 7) en m.

Sp/γ desviación estándar de las fluctuaciones de la carga de presión, en m.

Se revisa el ahogamiento de la estructura de llegada comparando el desnivel entre la plantilla del canal con la losa de fondo (altura de caída), y el valor de p/γ calculado con la ec. 4.3. un diseño correcto se logra cuando al tomar el signo positivo en la ec. 4.3, es menor que la altura de caída Hc; y además, cuando p/γ es positivo al tomar el valor negativo en la ec 4.3, en caso que p/γ resulte negativo, equivale a tener una succión en la losa, lo cual debe considerarse en el diseño estructural.

3.4.2 Desarrollo del ejemplo numérico

Esta captación se encuentra localizada en el cruce de la Av. Insurgentes Norte y Robles Domínguez, y recibe las descargas del colector 11 que forma parte del sistema Colector 11. Las estructuras que integran esta captación consisten en dos colectores de alimentación de 2.50 m de diámetro, descargan en una caja de control de 21.0 m de longitud por 8.80 m de ancho, la cual cuenta con dos compuertas deslizantes de 2.50 m de ancho por 3.00 m de alto, inmediatamente aguas debajo de la caja de control se encuentra el colector madrina, que consta de una sección cajón de 4.60 m de ancho por 6.00 m de alto, que se desarrolla a lo largo de 50.00 m, con una pendiente de 0.0007, el cajón se conecta con una cámara espiral que permite realizar las descargas hacia el drenaje profundo por medio de una lumbrera de caída. El diseño se hará para un gasto de 25.0 m³/s.

Resumen de datos:

g =	9.81 m/s ²
B =	21 ancho de la caja de control
D =	3.50 diámetro del colector madrina
Q =	25 m ³ /s
n =	0.014
So =	0.0007
Kc =	0.5 Coeficiente de pérdida por compuerta
a =	3 altura de compuerta
Bc =	5 ancho de compuerta (dos de 2.5 x 3.0)
Cdf =	0.625 Coeficiente de descarga libre
Cda =	0.65 Coeficiente de descarga ahogada
L =	355 Longitud del colector madrina hasta aguas abajo de las compuertas.
Ntn =	2233.50 Nivel de terreno natural
Elev =	2222.44 Nivel en la descarga a la lumbrera
Elev =	2193.94 Nivel de la losa de la estructura amortiguadora
Elev =	2188.94 Nivel del Interceptor Central

Primero se calcula la altura de caída, la cual se obtiene restando la elevación de la plantilla del colector de alimentación de la elevación de la losa de la estructura amortiguadora.

$$H_c = 2222.44 - 2193.94 = 28.50 \text{ m}$$

Altura común en un diseño con cámara en espiral. Luego, de la ec de ajuste de la fig. 4.1 (ec 4.1)

$$\frac{H}{DI} = 2.02 \left\{ \frac{25}{9.81^{0.5} 3.5^{2.5}} \right\}^{0.86} = 0.815, \text{ también se observa que el valor del parámetro}$$

$$\left\{ \frac{Q}{9.81^{0.5} DI^{2.5}} \right\}^{0.86} = \left\{ \frac{25}{9.81^{0.5} 3.5^{2.5}} \right\}^{0.86} = 0.35 \text{ cae dentro del intervalo de la figura 4.1 (ref. 4),}$$

por tanto:

$$H_r = 0.815 \times 3.5 = 2.85 \text{ m y el colector trabaja como canal.}$$

Revisando el nivel del agua en la lumbrera con la elevación de la calle, se tiene:

$$\text{Nivel del agua} = 2221.44 + 2.85 = 2227.29 < 2233.50, \text{ por lo que el diseño es correcto en este aspecto.}$$

La carga de presión media de la ecuación 4.1 será, con DI = 3.50 m y suponiendo Hv = 3.00 m

$$\frac{P}{\gamma} = \left\{ \frac{Q}{\sqrt{g}} \right\}^{0.4} \left\{ 1.596 \left(\frac{H_v}{DI} \right) + 0.805 \right\} = \left\{ \frac{25}{\sqrt{9.81}} \right\}^{0.4} \left\{ 1.596 \left(\frac{3.00}{3.50} \right) + 0.805 \right\} = 4.99 \text{ m, se observa}$$

que Hv/DI = 3.00/3.50 = 0.86, cae dentro del intervalo de valores de la figura 4.3.

Cálculo de Hr = altura de caída + energía mínima en el canal de llegada – carga de presión

media.

Valor del tirante crítico Y_c . Debido a que la sección del colector de llegada es rectangular, el tirante crítico está dado por la expresión siguiente:

$$Y_c = \left[\frac{Q^2}{b^2 g} \right]^{1/3} \quad \text{sustituyendo valores, se tiene:} \quad Y_c = \left[\frac{25^2}{4.60^2 (9.81)} \right]^{1/3} = 2.11 \text{ m}$$

Obtención de la energía específica mínima E_c . Para un canal rectangular, dicha energía está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{3}{2} Y_c, \quad \text{sustituyendo valores, se obtiene:} \quad E_c = \frac{3}{2} (2.11) = 3.169 \text{ m, sustituyendo valores:}$$

$$H_r = 28.50 + 3.169 - 4.99 = 26.679$$

La desviación estándar de las fluctuaciones de presión, según la ec. 4.2 es:

$$Sp/Y = 0.417 H_r \left\{ \frac{Q}{D^{2.5} \sqrt{g}} \right\}^{1.51} = 0.417 \times 26.679 \left\{ \frac{25}{3.50^{2.5} \sqrt{9.81}} \right\}^{1.51} = 2.263, \quad \text{para aplicar la}$$

ecuación 4.3 se usará el valor de K menos conservador, esto es $K = 1.65$ ya que los diseños con cámara en espiral, hasta ahora han resultado ser los más confiables.

$$\text{Así:} \quad \frac{p^i}{Y} = \frac{P}{Y} \pm K \frac{Sp}{Y} = 4.99 \pm 1.65 \times 2.263$$

$$\text{Con el signo positivo} \quad \frac{p^i}{Y} = 4.99 + 1.65 \times 2.263 = 8.72$$

En este caso la comparación para revisar el ahogamiento debe ser con $(H_c + H)$, o sea: 31.669 m, por lo que se concluye que el diseño es correcto.

Nuevamente al tomar el signo negativo, la carga de presión es:

$$\frac{p^i}{Y} = 4.99 - 1.65 \times 2.263 = 1.26 \text{ positiva, por lo que no existe succión en la losa de fondo.}$$

Área de las ventanas. Se abrirán dos ventanas al tubo vertical de caída, perpendiculares al muro vertedor de la estructura amortiguadora. De acuerdo con la sección 4.5 de la referencia 4, el área de cada una será del orden de 1.5 m^2 , lo cual se consigue con orificios de $1.20 \times 1.20 \text{ m}$.

Análisis del perfil hidráulico hacia aguas arriba de la descarga

Para este ejemplo numérico, se analizará solamente el perfil dentro del canal que se conecta a la cámara en espiral. En la siguiente página se muestra la tabla del cálculo realizado mediante incrementos finitos, también se muestra el perfil de la estructura y el arreglo en planta que se desarrolla de la figura 4.2 referencia 4. Con esto se concluye el ejemplo numérico.

Cálculo de tirantes-distancias por el método de incrementos finitos para colector madrina de sección rectangular

Datos:		Cálculo del tirante normal					Cálculo del tirante crítico				
		Y [m]	A [m ²]	R ^{2/3}	AR ^{2/3}	V [m/s]	Yc [m]	Ac [m ²]	Ac ³	Bc [m]	Ac ³ /Bc
Q =	25 m ³ /s										
b =	4.6 m										
So =	0.007 m										
z =	0	0.75	3.45	0.825	3.036	7.246	0.50	2.30	12.17	4.60	2.65
n =	0.014	1.00	4.60	0.828	4.058	5.435	0.60	2.76	21.02	4.60	4.57
		1.25	5.75	0.912	5.408	4.348	0.70	3.22	33.39	4.60	7.26
Se obtiene:		1.50	6.90	0.981	6.813	3.623	0.80	3.68	49.84	4.60	10.83
Yn =	2.627 m	1.75	8.05	1.039	8.258	3.106	0.90	4.14	70.95	4.60	15.43
A =	12.082 m ²	2.00	9.20	1.089	9.736	2.717	1.00	4.60	97.34	4.60	21.16
P =	9.853 m	2.25	10.35	1.131	11.238	2.415	1.10	5.06	129.55	4.60	28.16
R =	1.226 m	2.50	11.50	1.169	12.761	2.174	1.20	5.52	168.20	4.60	36.56
V =	2.069 m	2.627	12.08	1.146	13.229	2.069	1.30	5.98	213.85	4.60	46.49
T =	4.55 m						1.40	6.44	267.09	4.60	58.05
Qn/S ^{1/2} =	13.2288 m				Qn/S ^{1/2} = 13.229		1.44	6.64	293.07	4.60	63.71
Q ² /g =	63.7104995										

Sección crítica:

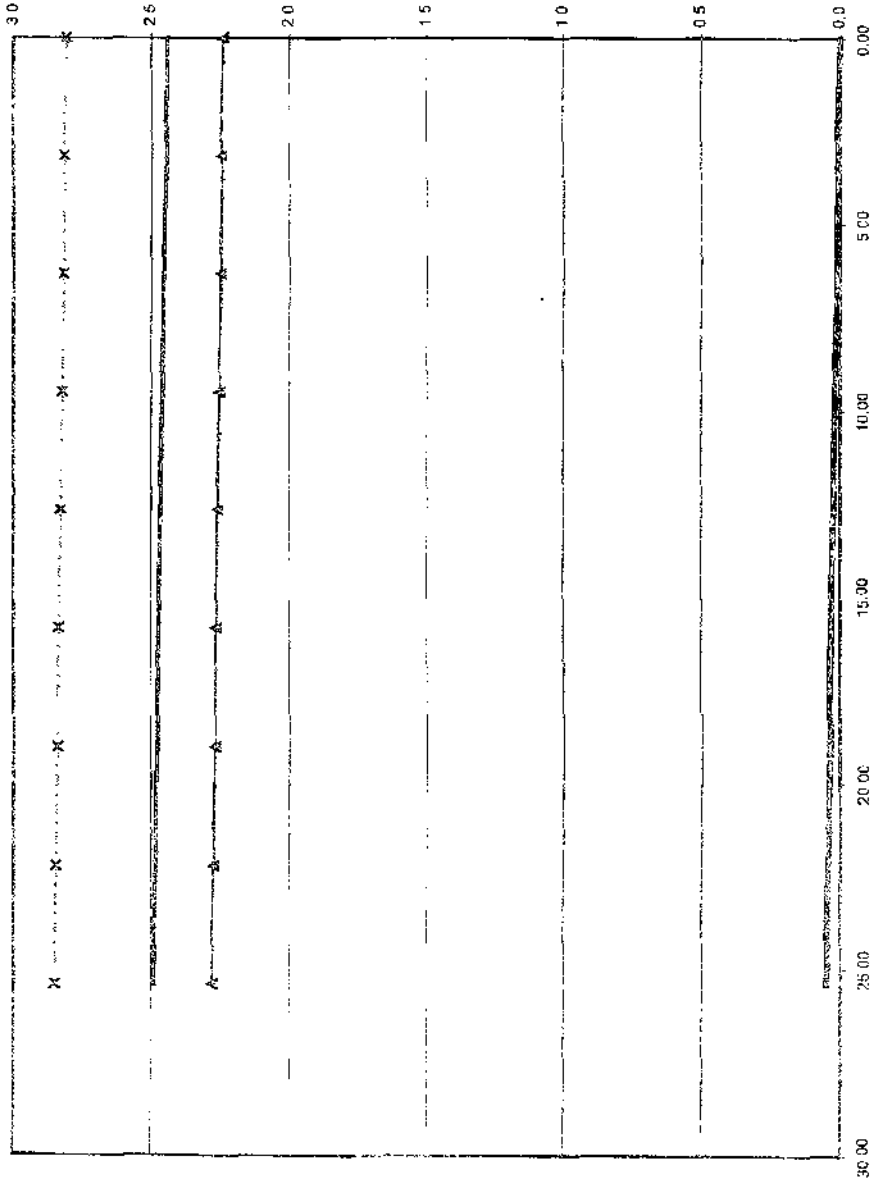
Yc =	1.444	m
Ac =	6.642	m ²
Vc =	3.76	m
Rhc =	0.89	m
Sc =	0.00326	

Para el método, se consideran:

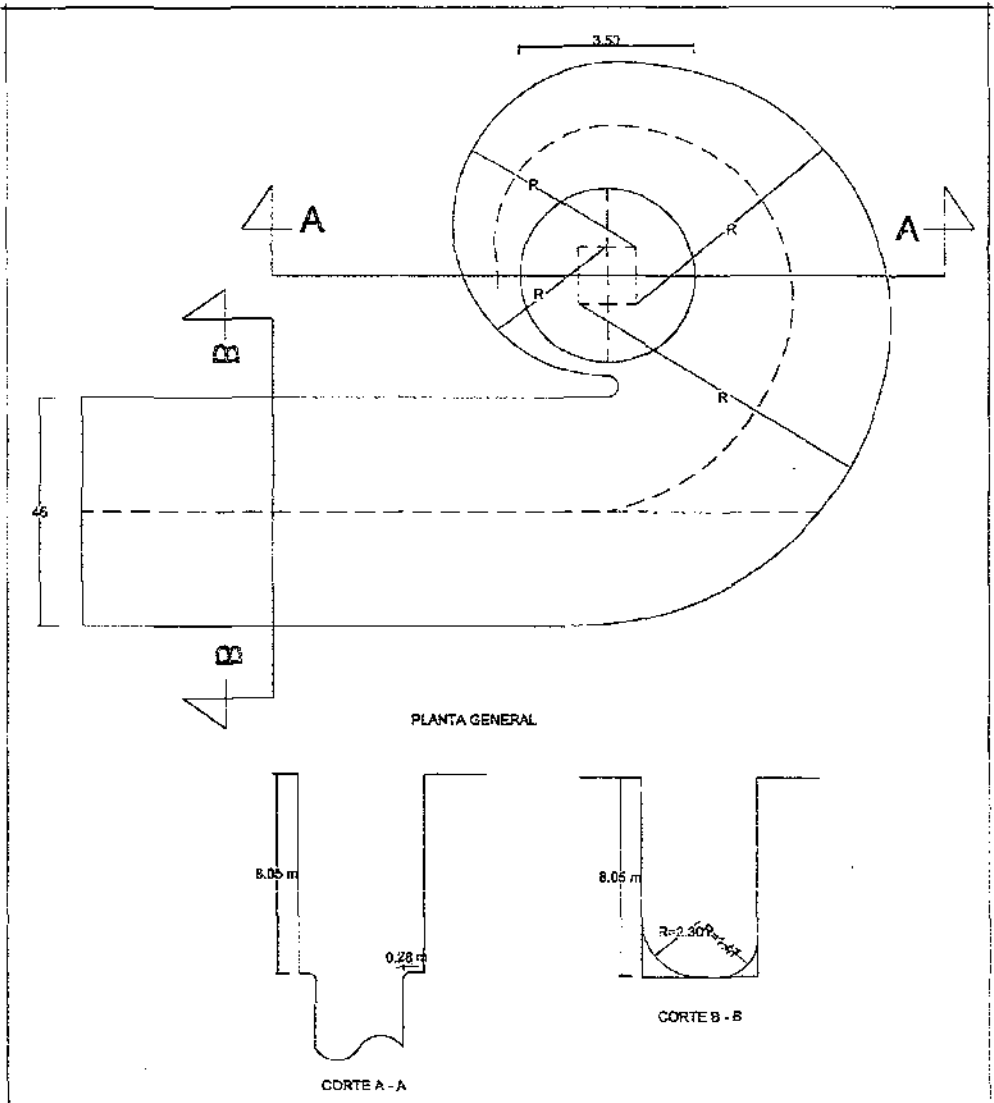
Yi =	1.444	m
Yf =	1.8000	m

Yi [m]	A [m ²]	P [m]	Rh	Rh ^{2/3}	V [m/s]	² /2g [m]	E [m]	Sf	Sf media	ΔX [m]	X [m]	Plantilla
1.4440	6.64	7.49	0.89	0.92	3.76	0.72	2.17	0.0032575		0.00	0.00	0.0000
1.4827	6.82	7.57	0.90	0.93	3.67	0.68	2.17	0.0030237	0.0031406	0.62	0.62	0.0031
1.5214	7.00	7.64	0.92	0.94	3.57	0.65	2.17	0.0028126	0.0029182	1.94	2.56	0.0126
1.5601	7.18	7.72	0.93	0.95	3.48	0.62	2.18	0.0026216	0.0027171	3.39	5.95	0.0297
1.5989	7.35	7.80	0.94	0.96	3.40	0.59	2.19	0.0024483	0.0025350	4.87	10.92	0.0546
1.6376	7.53	7.88	0.96	0.97	3.32	0.56	2.20	0.0022908	0.0023695	6.71	17.63	0.0881
1.6763	7.71	7.95	0.97	0.98	3.24	0.54	2.21	0.0021468	0.0022167	8.62	26.24	0.1312
1.7150	7.89	8.03	0.98	0.99	3.17	0.51	2.23	0.0020153	0.0020811	10.72	36.96	0.1848
1.7537	8.07	8.11	1.00	1.00	3.10	0.48	2.24	0.0018949	0.0019551	13.04	50.000	0.2500

Perfil del agua en el colector madrina



plantilla Colector Perfil Línea de energía



PLANTA GENERAL

CORTE A - A

CORTE B - B



UNAM

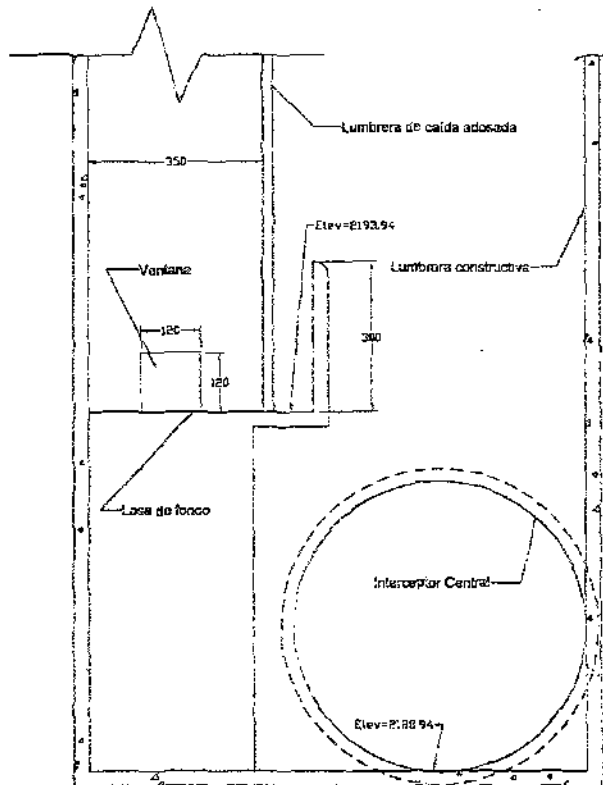
Arreglo en planta de la captación Guilláhuac

Cap. III Funcionamiento Hidráulico

Esc.

S/E

62



CORTE VERTICAL



4. - ANÁLISIS GEOTÉCNICO

En este capítulo se presenta la zonificación geotécnica del Valle de México basada en las propiedades de compresibilidad y resistencia de los depósitos característicos de la cuenca lacustres, aluviales y volcánicos; en la fig. A se presenta una zonificación actualizada que sigue los lineamientos presentados por Marsal y Mazari en 1959. Esta zonificación debe consultarse para definir en forma preliminar los problemas geotécnicos que se pueden anticipar relacionados con el diseño y construcción de las lumbreras y tramos intermedios del sistema de drenaje profundo. La zonificación se complementa con información estratigráfica típica.

Posteriormente a esta zonificación, en el segundo subcapítulo se presenta un estudio sobre los trabajos de exploración y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos que se deben realizar en el proyecto de una obra de captación al drenaje profundo.

La especificación de que se trata en el segundo subcapítulo, se refiere a la zona de depósito de arcilla volcánica de grandes espesores (zona de lago), de alta compresibilidad y baja resistencia, y que está en el proceso de consolidación provocado por el intenso bombeo de agua subterránea de acuíferos, a varias profundidades. Además, de vez en cuando ocurren intensos sismos que provocan considerables cargas al sistema lumbrera - túnel y otras estructuras complementarias. Esto representa un problema bastante complejo, para una solución cuantitativa con una buena aproximación a la realidad. Por esta razón, es necesario contar con los datos de estudios de mecánica de suelos de alta precisión, respecto de la estratigrafía, condiciones hidráulicas del subsuelo, parámetros índices y mecánicos, registros de hundimiento por consolidación y movimientos sísmicos ocurridos.

Los resultados de los análisis tienen dos propósitos principales; el primero, revelar el comportamiento cualitativo del sistema para encontrar puntos críticos; el segundo, llegar a los valores numéricos para el diseño. El grado de aproximación de los análisis, en realidad, depende de la precisión y representatividad de los siguientes datos de entrada: los de mecánica de suelos enseguida mencionados, pruebas de laboratorio, hipótesis respecto al procedimiento de construcción, cálculo de distribución de los cambios de esfuerzos, deformaciones, definición de las condiciones de frontera, desplazamientos, esfuerzos, etc.

Como se puede notar, el análisis se empieza desde muchos puntos de partida, los caminos son largos, y las consecuencias muy importantes, ya que los resultados sirven como base para la toma de decisiones. La evaluación de los errores en los resultados es casi imposible por la cantidad de causas que los provocan. La única forma de evaluarlos y calibrar los conocimientos aplicados, es monitoreando el comportamiento real de la obra y comparando las mediciones con los valores calculados durante el proyecto. Se considera que el trabajo intelectual, cualquiera que sea su magnitud, es una parte insignificante respecto de la importancia y magnitud del drenaje profundo y, por ello, es conveniente aplicar muchos métodos y teorías que, aunque contradictorias, revelan una parte de la realidad.

4.1 Tipos de suelos (Zonificación Geotécnica)

4.1.1 Zona de lago

Esta zona se caracteriza por los grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad (fig. 1), que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable en cada sitio, dependiendo de la localización e historia de cargas. Por ello, la zona de lago se ha dividido en

tres zonas atendiendo a la importancia relativa de dos factores independientes: a) el espesor y propiedades de la costra superficial; y b) la consolidación inducida en cada sitio.

Lago virgen. - Corresponde al sector oriente del lago, cuyos suelos prácticamente han mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación; sin embargo, el reciente desarrollo de esta zona de la ciudad, está incrementando las sobrecargas en la superficie y el bombeo profundo.

La estratigrafía típica de la subzona *lago virgen* arriba de la Capa Dura se ilustra en la fig. 2, en la siguiente tabla se representan las propiedades medias de los estratos.

Estrato *	Espesor, En m	γ , en t/m^3	c , en t/m^2	ϕ , en °
Costra superficial	1.0 a 2.5	1.40	1.0	20
Serie arcillosa superior	38 a 40	1.15	0.5 a 1.0	-
Capa dura **	1 a 2	-	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	15 a 30	1.25	3 a 4	-

Tabla 1 Estratigrafía y propiedades, Lago Virgen.

* En orden de aparición a partir de la superficie

** La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU.

Lago Centro I. - Está asociada al sector no colonial de la ciudad, que se desarrolló a partir de principios de este siglo y ha estado sujeto a las pequeñas y medianas sobrecargas generadas por construcciones pequeñas y medianas; las propiedades mecánicas del subsuelo de esta subzona representan una condición intermedia entre el Lago Virgen y Lago Centro II. Las características estratigráficas propias de esta subzona se presentan en la tabla 2 y en la fig. 3 la resistencia de punta del cono eléctrico de esta serie arcillosa, es interesante comparar esta figura con la fig. 2 para observar el incremento de resistencia originado por las sobrecargas.

Estrato	Espesor, en m	γ , en t/m^3	c , en t/m^2	ϕ , en °
Costra superficial	4 a 6	1.6	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 30	1.2	1 a 2	-
Capa dura *	3 a 5	1.5 - 1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	8 a 10	1.3 - 1.35	5 a 8	-

Tabla 2 Estratigrafía y propiedades, Lago Centro I.

* La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU.

Lago Centro II. - Esta subzona corresponde con la antigua traza de la ciudad, donde la historia de cargas aplicadas en la superficie ha sido muy variable; esta situación ha provocado que en esta subzona se encuentren las siguientes condiciones extremas: a) arcillas fuertemente consolidadas por efecto de rellenos y grandes sobrecargas de construcciones aztecas y coloniales, b) arcillas blandas, asociadas a lugares que han alojado plazas y jardines durante largos periodos de tiempo, y c) arcillas muy blandas en los cauces de antiguos canales. Asimismo, el intenso bombeo para surtir de agua a la ciudad se refleja en el aumento general de la resistencia de los estratos de arcilla por efecto de la consolidación inducida, como se

observa en la fig. 4, que conviene comparar con las figuras 2 y 3; en la tabla 3 se resume la estratigrafía característica de esta subzona

Estrato	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c, en t/m ²	ϕ , en °
Costra superficial	6 a 10	1.7	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 25	1.3	3	-
Capa dura *	3 a 5	1.5 a 1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	6 a 8	1.3 a 1.4	6 a 12	-

Tabla 3 Estratigrafía y propiedades, Lago centro II.

* La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU.

4.1.2 Zona de transición

Interestratificada del poniente. - En la franja comprendida entre las zonas del Lago y las Lomas depositados en esta zona se alternan estratos arcillosos en un ambiente lacustre con suelos gruesos de origen aluvial, dependiendo sus espesores de las transgresiones y regresiones que experimenta el antiguo lago.

La frontera entre las zonas de Transición y del Lago se definió donde desaparece la serie arcillosa inferior, que corresponde aproximadamente con la curva de nivel donde la Capa Dura está a 20 m de profundidad respecto al nivel medio de la planicie. Conviene dividir esta transición en subzonas, en función de la cercanía a las lomas y sobre todo del espesor de suelos relativamente blandos; se identifican así las transiciones alta y baja, que se describen a continuación.

a) Transición alta. - Es la subzona de transición más próxima a las Lomas, presenta irregularidades estratigráficas producto de los depósitos aluviales cruzados; la frecuencia y disposición de estos depósitos depende de la cercanía a antiguas barrancas. Bajo estos materiales se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios de Las Lomas (fig. 5).

La estratigrafía comúnmente encontrada tiene las características anotadas en la siguiente tabla. En la fig. 6 se muestran los resultados de un sondeo de cono característico de esta subzona.

Estrato *	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c, en t/m ²	ϕ , en °
Costra superficial	8 a 10	1.6	10	20
Suelos blandos	4 a 6	1.3	5	0

Tabla 4 Estratigrafía y propiedades, Transición alta.

b) Transición baja. - Corresponde a la transición vecina a la zona del Lago; aquí se encuentra la serie arcillosa superior con intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial, que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago. Este proceso dio origen a una estratigrafía compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de la ubicación del sitio en estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y barrancas.

Por lo anterior, puede decirse que las características estratigráficas de la parte superior de la transición baja son similares a la subzona de Lago Centro I o Centro II, teniendo en cuenta que a) la costra superficial está formada esencialmente por depósitos aluviales de capacidad de carga no uniforme, b) los materiales compresibles se extienden únicamente a profundidades máximas de 20 m, c) existe interestratificación de arcilla y suelos limocarenosos, y d) se presentan mantos colgados. En la fig. 7 se muestran los resultados de un sondeo de cono característico de esta subzona.

Abrupta cercana a los cerros. - Es la transición entre las zonas de lago y cerros aislados como el Peñón de los Baños, en la que arcillas lacustres están intercaladas con numerosos lentes de materiales erosionados de los cerros y hasta lentes delgados de travertino silicificado.

4.1.3 Zona de Lomas

En la formación de Las Lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de los grandes volcanes andesíticos estratificados de la sierra de las Cruces:

- Horizontes de cenizas volcánicas
- Capas de erupciones pumíticas.
- Lahares.
- Avalanchas ardientes.
- Depósitos glaciales.
- Depósitos fluvioglaciales.
- Depósitos fluviales
- Suelos.

Eventualmente se encuentran rellenos no compactados, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas y tapar accesos y galerías de minas antiguas.

Estratigrafía típica en la zona de transición alta. - Todos estos materiales presentan condiciones irregulares de compactación y cementación, que determinan la estabilidad de las excavaciones de esta zona, por ello, exceptuando a los cortes en lahares compactos, en los demás depósitos pueden desarrollarse mecanismos de falla.

Tobas y lahares fracturados. - Estos materiales pueden presentar fracturas en direcciones concurrentes que generan bloques potencialmente inestables; estos bloques pueden activarse bajo la acción de un sismo o por efecto de la alteración de las superficies de fracturamiento, al estar sometidos a un humedecimiento producto de la infiltración de escurrimientos no controlados. En algunos casos, las fallas locales en la superficie del corte podrían generar taludes invertidos de estabilidad precaria.

Un aspecto significativo de las tobas, es que algunas de ellas son muy resistentes al intemperismo y que incluso endurecen al exponerse al ambiente, mientras que otras son fácilmente degradables y erosionables.

Depósitos de arenas pumíticas y lahares de arenas azules. - Estos suelos están en estado semicompacto y se mantienen en taludes verticales debido principalmente a la cohesión aparente generada por la tensión superficial asociada a su bajo contenido de agua, por tanto, el humedecimiento o secado de estos materiales puede provocar la falla de los cortes.

Lahnres poco compactados y depósitos glaciales y fluvio-glaciales. - Estos depósitos presentan una compactación y cementación muy errática, por lo que la erosión progresiva de origen eólico y fluvial tiende a generar depósitos de talud crecientes, que solo definen su avance cuando alcanzan el ángulo de reposo del suelo granular en estado suelto. De la descripción anterior se concluye que los principales agentes de activación son el agua y el viento, por lo cual es necesario proteger estos materiales contra un intemperismo prolongado.

Basaltos. - Son los pedregales generados por el Xitle, formados por coladas lávicas que presentan discontinuidades como fracturas y cavernas, eventualmente rellenas de escoria. La estabilidad de excavaciones en estos basaltos debe analizarse en función de los planos principales de fracturamiento y no de la resistencia intrínseca de la roca; en el caso de cavernas grandes debe estudiarse la estabilidad de los techos. En la exploración geotécnica de esta zona tiene más valor el reconocimiento geológico detallado y la perforación controlada con martillos neumáticos en mayor número de puntos, que la obtención de muestras con barriles de diamante y máquinas rotatorias.

Los accidentes que se observan en las coladas de basalto, son principalmente:

- Fracturas que pueden formar bloques independientes y desarrollar un mecanismo de falla
- Burbujas grandes o pequeñas; las primeras son cavidades por sí solas, mientras que las segundas constituyen zonas porosas débiles.
- Vacíos entre coladas; generalmente son cavidades lenticulares, es decir, su desarrollo puede ocupar una zona amplia en planta, mientras que el espacio vacío vertical que dejan entre dos coladas puede ser apenas de unos centímetros. Este mismo fenómeno se ha observado entre la primera colada que se deposita y el terreno original.

Adicionalmente se ha encontrado en los derrames del Xitle, cavidades en forma de túneles que se prolongan por varias decenas de metros, y que están alojadas a lo largo de cauces anteriores a la colada; cuando estas ocurren la roca fundida fluye por el cauce, y al enfriarse paulatinamente su superficie y fronteras con el suelo, su parte central, aún fluida, escurre con mayor velocidad, generando una cavidad de este tipo.

La exploración de estos depósitos puede hacerse eficientemente con martillos neumáticos, valuando mediante una supervisión cuidadosa la velocidad de avance de la broca, la intensidad del ruido que produce, la coloración del material que está cortando y los caídos que ocurren de la tubería de perforación. Con base en esta información, pueden clasificarse los depósitos del subsuelo y estimar su estado general para fines de ingeniería civil, como se muestra en las figuras 8 y 9.

4.2 Trabajos de exploración y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

4.2.1 Trabajos de exploración

Los trabajos descritos en este capítulo, consisten en la obtención de la estratigrafía, propiedades índices y mecánicas, y condiciones hidráulicas del subsuelo que permiten realizar el análisis y diseño de lumbreras y túneles del sistema de drenaje profundo en la zona de lago del Distrito Federal.

Trabajos de exploración de campo de mecánica de suelos

Antes de empezar cualquier trabajo de exploración y laboratorio, es necesario definir:

Plan de actividades según las necesidades del proyecto: procedimiento constructivo, obras inducidas, hundimiento regional, sismo, etc.

Recopilación de la información existente: geología, estudios anteriores en los sitios cercanos, libros revistas, etc.

Programación y reprogramación de exploración y laboratorio: actividades, tiempo de cada actividad y programa.

Evaluación económica: precios unitarios de cada concepto, costos por actividad y total, y monto del presupuesto.

4.2.2 Índice de actividades de la exploración de campo.

a) Prueba de penetración con el cono estático

Finalidad. El cono eléctrico se utiliza para determinar con precisión la estratigrafía y resistencia de suelos de consistencia o compacidad baja, y programar el muestreo inalterado.

Localización y profundidad. Una prueba por cada lumbrera y esta debe extenderse hasta los depósitos profundos (56 m aprox.) y penetrar mínimo 1.5 m en la capa dura. Debe atravesar todos los depósitos de suelo blando o suelto. En el caso de encontrar a los estratos rígidos, completar la prueba con el cono dinámico.

b) Sondeo mixto

Finalidad. Extracción de las muestras relativamente inalteradas y alteradas representativas, para los ensayos de laboratorio. Combinación de muestreo inalterado con el tubo de pared delgada (Shelby, diámetro exterior de 4 a 5 pulgadas, 101.6 a 127 mm) y prueba de penetración estándar.

Normas.

Muestreo inalterado: ASTM D-1587
Penetración estándar: ASTM D-1586

Localización y profundidad. Un sondeo por lumbrera localizado cerca de los puntos de prueba del cono. El muestreo inalterado se debe aplicar en todos los estratos de compresibilidad alta y

resistencia baja, según los resultados de la prueba de cono estático, hasta alcanzar a los depósitos profundos, 55 m aprox. La penetración estándar se realiza en las capas de compactación alta.

c) Estación piezométrica

Finalidad. Determinación de las condiciones hidráulicas del subsuelo. Consiste en una serie de piezómetros, tipo Casagrande, colocados en los niveles de estratos permeables, y de piezómetros neumáticos en estratos impermeables. Su programación detallada se realiza conociendo la estratigrafía en detalle.

d) Banco de nivel profundo

Finalidad. Determinar desplazamientos verticales en varias profundidades de subsuelo. Consiste de una serie de perforaciones a diferentes profundidades, con tubos o varillas de acero o plástico a lo largo de su interior, firmemente sujetas en el fondo de la perforación y fibras a lo largo de su fuste. Midiendo los desplazamientos del fondo de la perforación respecto de la superficie.

Localización. Un banco por cada lumbrera, la programación definitiva en el sentido vertical se determinará una vez conocida la estratigrafía y condiciones hidráulicas del subsuelo.

4.2.3 Ensayes de laboratorio de mecánica de suelos.

Las pruebas de laboratorio proporcionarán los valores cualitativos y cuantitativos de las propiedades del suelo necesarios para su clasificación, y la determinación de la compresibilidad, resistencia y permeabilidad.

4.2.4 Pruebas índices.

a) Análisis granulométrico por lavado

Para determinar la relación de pesos de la fracción fina y gruesa respecto del peso total de la muestra de suelo. La frontera entre finos y gruesos es el tamaño de grano igual a 0.075 mm.

La prueba se realiza cada 30 cm a lo largo de las muestras obtenidas con el sondeo mixto.

b) Índices de consistencia (LL, LP, IP) para la clasificación de la fracción fina de las muestras.

LL Límite líquido, norma ASTM D-423.

LP Límite plástico, norma ASTM D-424.

IP Índice de plasticidad.

La prueba se realizará una por cada estrato donde predominen finos, a lo largo de las muestras obtenidas con el sondeo mixto.

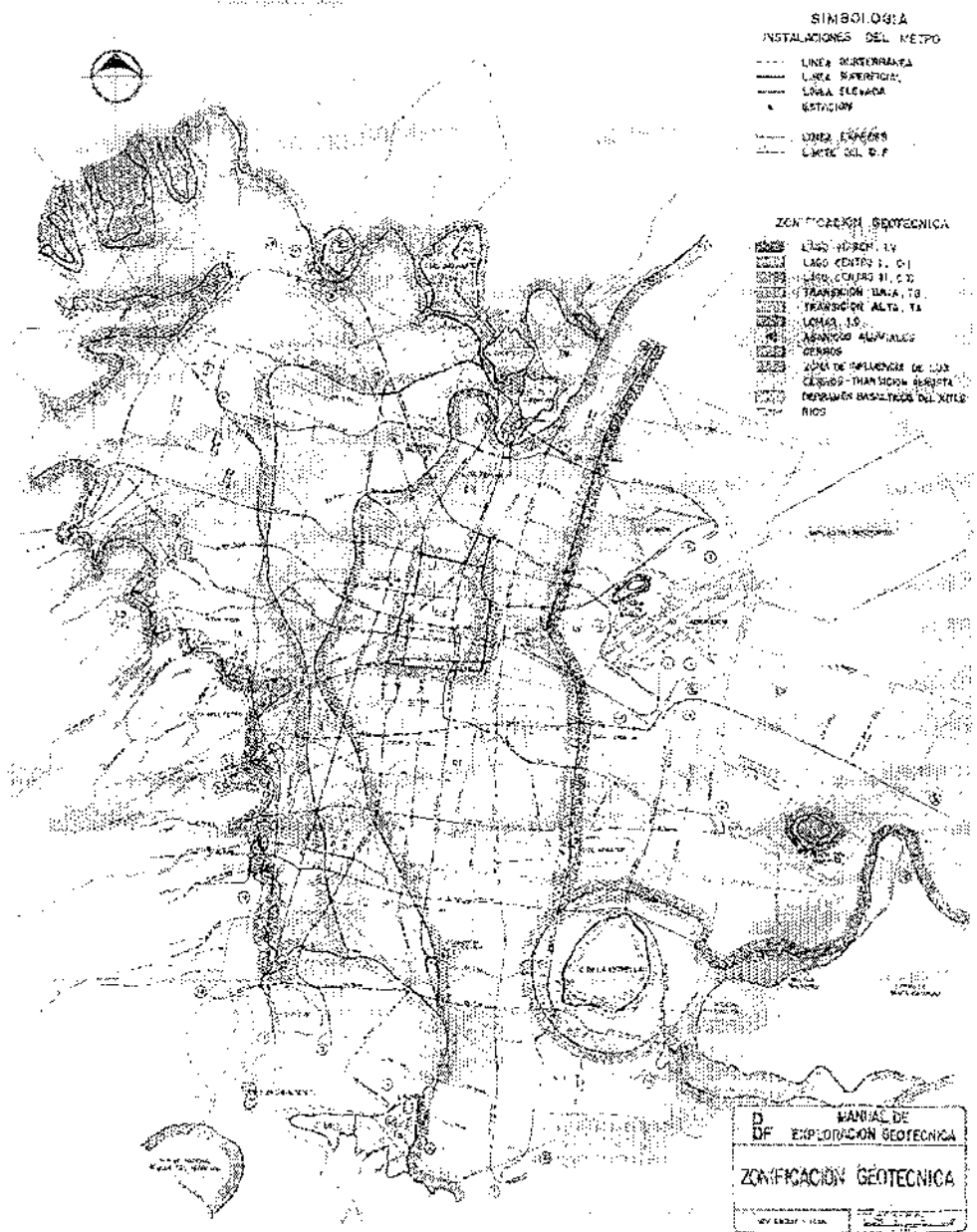
c) Contenido de humedad natural (norma ASTM D-2216), cada 15 a 20 cm a lo largo del sondeo mixto.

d) Densidad de los sólidos (norma ASTM D-854), cada 30 cm de avance del sondeo mixto y en todas las muestras donde se realicen pruebas mecánicas, como las de consolidación, triaxiales y de péndulo de torsión.

e) Peso volumétrico natural de la muestra, cada 15 cm de avance de sondeo mixto.

4.2.5 Pruebas mecánicas.

- a) Compresión no confinada (norma ASTM D-2166), cada metro de avance de sondeo mixto, donde se pueda labrar la muestra.
- b) Prueba de consolidación unidimensional, mínimo una por cada estrato compresible, desde la superficie del suelo hasta la terminación del sondeo (norma ASTM D-2435), con 8 incrementos constantes de carga y decrementos durante la descarga. El esfuerzo máximo se tomará como 1.5 veces mayor que la compresión no confinada. La programación de las pruebas se puede realizar teniendo el registro del cono eléctrico o estratigrafía del sondeo mixto. En la presentación de resultados deben incluirse los registros del tiempo - deformación, para cada incremento y decremento de cargas
- c) Pruebas triaxiales, no consolidada no drenada (UU). En casos donde no se puedan labrar las muestras para la prueba de compresión no confinada, en serie de tres probetas, según la norma ASTM D-2435.
- d) Pruebas de péndulo de torsión, en cada estrato compresible en sondeos cercanos a las lumbreras.



- SIMBOLOGIA**
INSTALACIONES DEL METRO
- LINEA SUBTERRANEA
 - LINEA SUPERFICIAL
 - LÍNEA ELEVADA
 - ESTACION
 - LÍNEA EXPRESO
 - CARRE DEL D.F.

- ZONIFICACION GEOTECNICA**
- █████ ZONA NOROCCIDENTAL
 - █████ ZONA CENTRO SUR
 - █████ ZONA CENTRO SUR
 - █████ TRANSICION BAJA TA
 - █████ TRANSICION ALTA TA
 - █████ LOMAS S.O.
 - █████ ANENCOES ALMORZALES
 - █████ CERROS
 - █████ ZONA DE INFLUENCIA DE LOS CERROS-TIAXHOCAYUCA
 - █████ DEPRASION BASALTICA DEL XITLA RIOS

D. MANRIAL DE
 D.F. EXPLORACION GEOTECNICA
ZONIFICACION GEOTECNICA
 BY 1982 BY 1982

Figura A Zonificación geotécnica

Esc.

S/E



JNAM

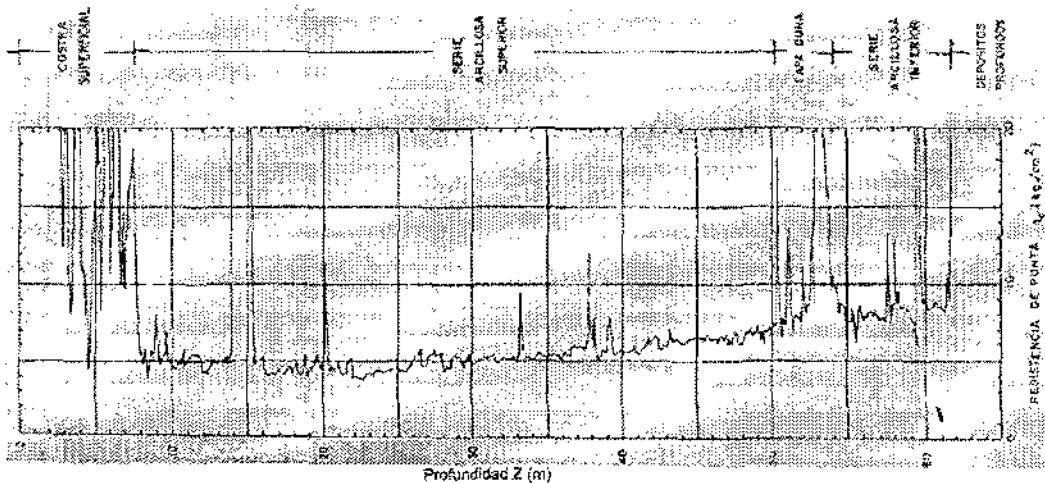


Figura 1 Sondaje zona de Lago

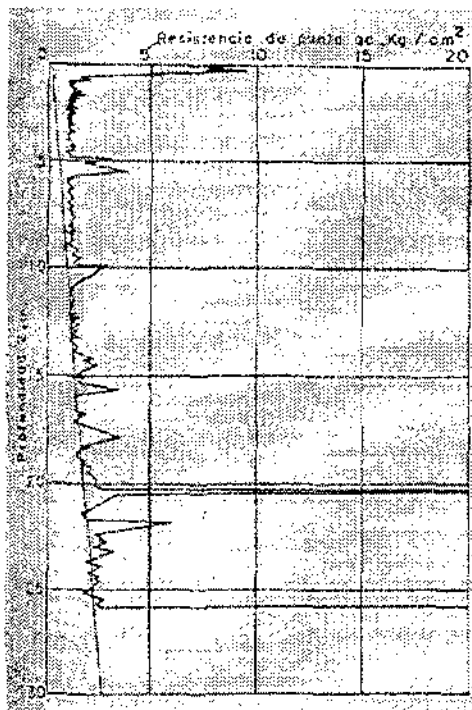


Fig. 2 Sondaje de cono eléctrico en la subzona del Lago Virgen

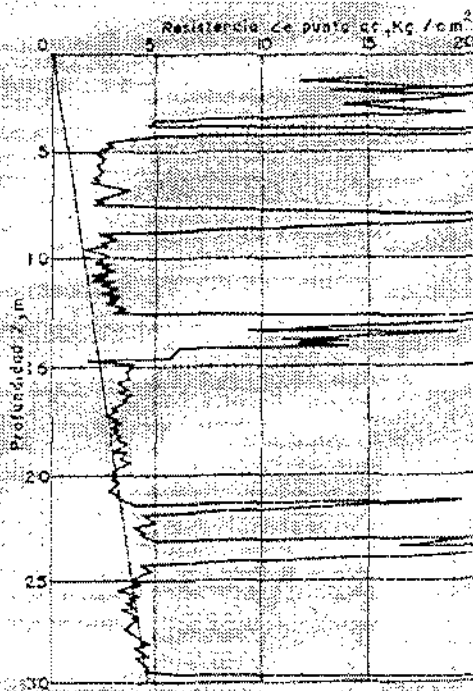


Fig. 3 Sondaje de cono eléctrico en la subzona Lago Centro I

Figuras 1, 2 y 3

Esc.

S/E



UNAM

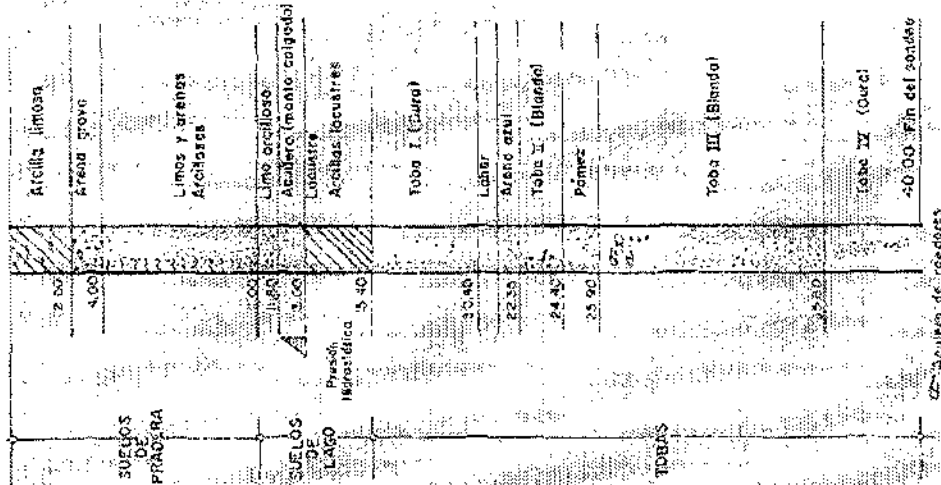


Fig 5 Estratigrafía típica en la zona de Transición Alta

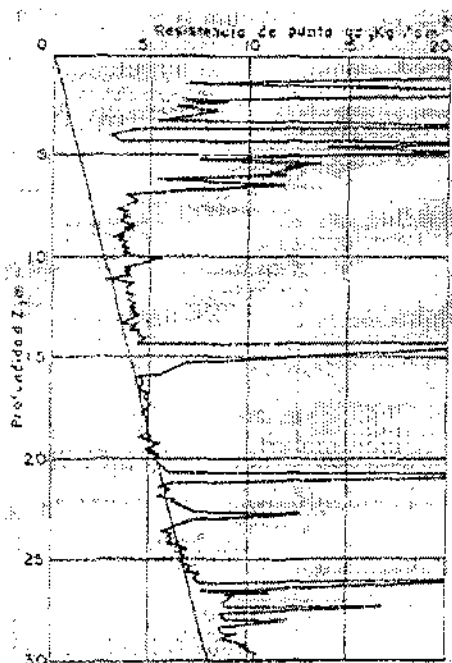


Fig 4 Sondaje de cono eléctrico en la subzona Lago Centro II

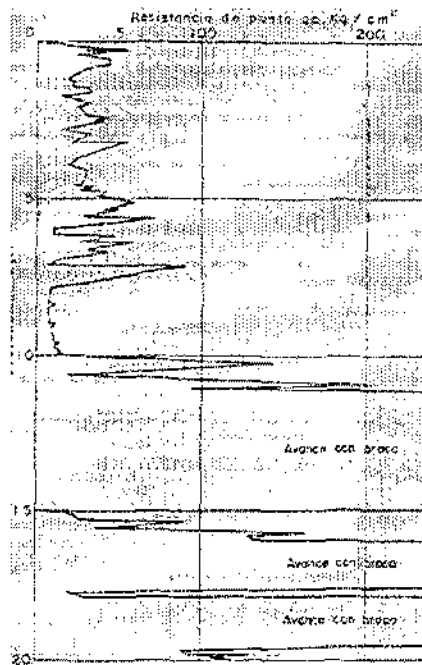


Fig. 6 Sondaje de cono eléctrico en la subzona Transición Alta

Figuras 4, 5 y 6

Esc.

S/E

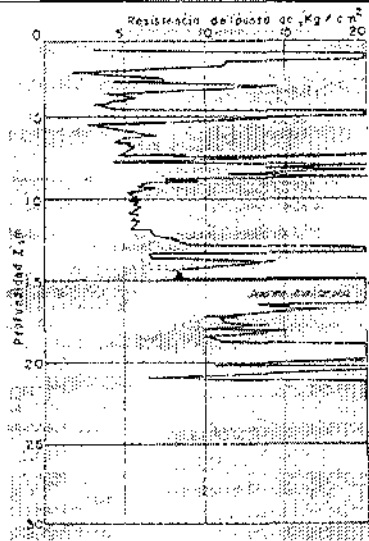


Fig. 7 Sondaje de cono o cónico en la subzona Transición Beja

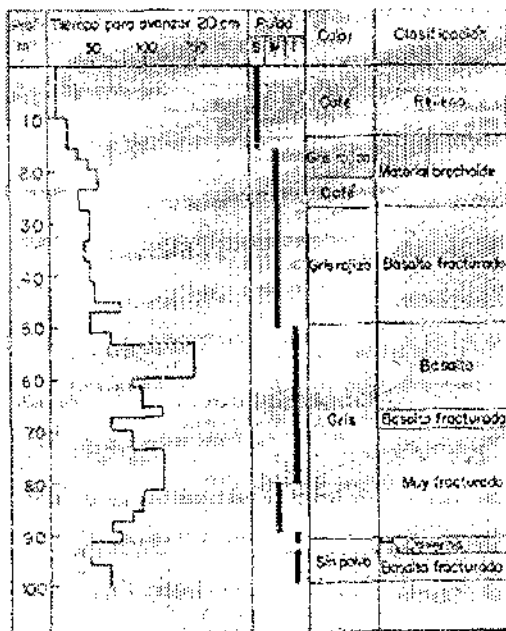


Fig. 8 Sondaje a percusión con perforadora neumática

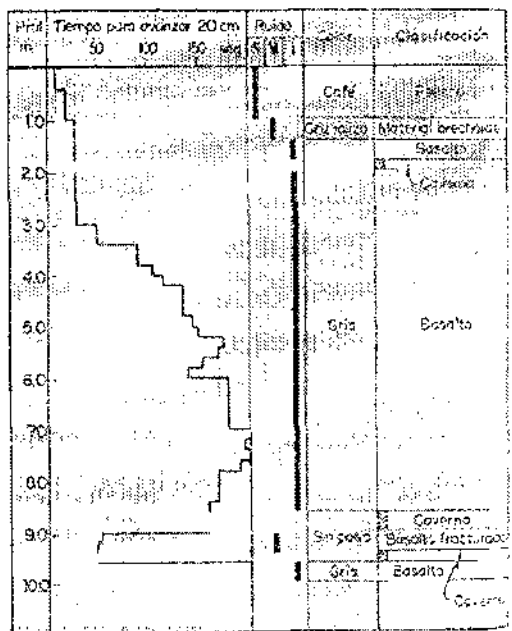


Fig. 9 Sondaje a percusión con perforadora neumática



Figuras 7, 8 y 9

5. - DISEÑO ESTRUCTURAL

El objetivo principal del trabajo presentado en este capítulo, es observar los criterios y las recomendaciones establecidas para el análisis y diseño de las estructuras superficiales, semiprofundas o profundas, que integran el drenaje profundo de la Ciudad de México.

Lo anterior es con el fin de tener una clara idea de la manera en que se llevan o se tratan de llevar a cabo las tareas mencionadas. Presentar un ejemplo de algún diseño sería particularizar sobre un problema específico en el que se tendrían muchas limitantes en el sentido de que no se observaría los problemas que se llegan a presentar en otros proyectos. Esto nos lleva a hacer un estudio general de los métodos que se utilizan en la actualidad basándose en las experiencias adquiridas a través de los años.

A continuación se presenta el desarrollo del capítulo en el que no se presenta algún proyecto particular, sino más bien las recomendaciones y criterios que se han establecido para el desarrollo de los proyectos

Consideraciones

El enfoque de este estudio es hacia las estructuras que se construirán en la zona de terreno compresible o zona de lago. Por la amplitud del tema, no se consideran los efectos en la zona de transición y terreno firme o zona de lomas.

Las recomendaciones que se presentan deben ser complementadas con las presentadas en el capítulo cuarto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en las Normas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto y las Normas de Emergencia.

El diseño de las estructuras se podrá hacer con criterios de diseño al límite o con esfuerzos de trabajo. En todo caso, se deberán cumplir las limitaciones correspondientes al título IV del Reglamento, revisando simultáneamente, donde se requiera, los estados límite de servicio (deformaciones, agrietamientos, etc.) para que las estructuras tengan un comportamiento adecuado en operación.

Unas de las obras que se consideran son las clasificadas como obras de derivación, y que por la profundidad a que se construyen son consideradas superficiales, y sirven para derivar los caudales de colectores hacia el drenaje profundo. Dentro de estas se encuentran las cajas de derivación, lumbreras de deflexión, lumbreras o estructuras de control y las conducciones propiamente dichas, que son circulares con diámetro no mayor de 2.44 m.

Las siguientes obras que se consideran son las lumbreras constructivas, consideradas como obras de conducción, debido a su profundidad y tamaño. Dentro de estas obras de conducción, se encuentran los túneles, pero estos no son considerados en aquí por no ser el objeto de estudio del presente trabajo.

5.1 Solicitaciones estáticas y dinámicas

En este capítulo se plantea el establecimiento de las sollicitaciones de carga para cada una de las estructuras que forman las obras de captación, ubicando esta última dentro de la zona de terreno compresible de la ciudad (zona de lago). Se describe someramente cada elemento de la lumbrera y se presentan las sollicitaciones a que se encontrará sometida durante su vida, y las dimensiones recomendadas como secciones preliminares.

Losa de fondo. - Es el elemento más profundo de la lumbrera y está sometido a la presión total ocasionada por el peso propio del fuste, fricción negativa, losa de tapa, estructuras interiores en su caso y empuje por flotación. Se deberán incluir las sobrecargas que provienen de la superficie (tránsito sobre la losa de tapa), el aumento de presión por consolidación, y la sobrepresión por giro de la base ante sismo, cuando el estudio de mecánica de suelos así lo recomiende.

De las cargas mencionadas, las correspondientes a peso propio son de fácil obtención mediante una adecuada selección de las secciones preliminares. Las solicitaciones impuestas por el terreno se establecen de común acuerdo con el especialista de mecánica de suelos.

Para fines de peso propio se recomienda emplear losas de 1.50 m de espesor en lumbreras de 9 m de diámetro, y 2 m en las de 12 m de diámetro. Esto, cabe aclarar, es hasta profundidades de 40 m.

Fuste. - Es el elemento principal de la lumbrera y, por razón del costo y procedimiento constructivo, normalmente es cilíndrico. Está sujeto a carga vertical, a presión radial causada por el terreno, o a presión hidrostática; estas últimas ocasionan compresiones que, aunque generalmente no rigen el diseño se requiere su revisión. Como cargas verticales se tienen el peso de la losa de tapa, el peso propio del fuste, y el de los elementos interiores (en su caso), la fricción y la reacción de la losa de fondo.

Por otra parte, las solicitaciones sísmicas también afectan su diseño, ya que generan momentos y cortantes por efecto de las ondas de cortante y los procesos de consolidación producidos por hundimientos regionales o locales.

Para fines de peso propio y análisis, se recomienda considerar un espesor del orden de 50 a 60 cm cuando la profundidad sea hasta de 40 m, y de 30 cm, cuando la profundidad sea del orden de 15 m o menos. Esto es congruente con los armados y procesos de construcción que se han observado a la fecha.

Losa de tapa. - De acuerdo a los fines que debe cubrir la lumbrera y considerando que el túnel se construye tiempo después de la terminación de aquella o de una batería de lumbreras, la losa de tapa se proyecta basándose en precolados de concreto que cubren el acceso, hasta que se abre para la introducción del equipo de excavación.

Debido a esta característica, los precolados deben ser diseñados para soportar las cargas impuestas en una primera etapa de operación y lo más ligeros posible, a fin de facilitar las maniobras de izado, montaje y desmontaje posterior. El uso de precolados de un máximo de 3.20 m de largo, 10 cm de espesor y anchos seleccionados por el calculista, permiten cumplir los requisitos mencionados, aunque requieren traveses, también precolados, para salvar los claros usuales en las lumbreras.

Las losas se analizarán, en una primera condición de trabajo, sometidas a peso propio y a una sobrecarga de 200 kg/m². Para su análisis en la segunda etapa de trabajo, se considerarán, además del peso total, una sobrecarga de los pesos muertos adicionales que se tengan (jardines, casetas, etc.), la carga viva adecuada y el colado de liga.

Cuando la lumbrera esté localizada en una zona en que se contemple tránsito de camiones sobre ella, se usará una losa colada in situ, un relleno de 1.50 m mínimo sobre ella, y una losa de rodamiento. Se puede considerar una losa de 1.00 m como base para la losa principal, para diámetros hasta de 12 m de la lumbrera.

Para las lumbreras de captación se tendrán, además, los siguientes elementos estructurales necesarios para cumplir su función y que se construyen posteriormente a la terminación del revestimiento secundario o definitivo del túnel.

Lumbrera adosada. - Es una estructura tubular, de diámetro pequeño comparado con la lumbrera exterior, y cuyas dimensiones están definidas por el proyecto hidráulico de la captación. Su función es recibir las aportaciones que, a través de las obras derivadoras, llegan al drenaje profundo.

Para fines de análisis, este tubo está sometido a peso propio y presión hidráulica durante la operación y momentos inducidos por los movimientos sísmicos actuando sobre su conexión con la captación. Por facilidad de construcción y por peso propio, se recomienda un espesor mínimo de 20 cm en este elemento.

Tanque amortiguador. - Se forma por la losa que soporta la lumbrera adosada y la trabe - vertedor. La losa es de forma semicircular y está empotrada en el fuste y apoyada en la trabe.

Para fines de análisis, se considera un espesor de 50 cm para diámetros de 12 m en lumbreras, y de 40 cm, cuando sean menores. Además del peso propio se considerará el peso del agua para el tirante máximo definido por el proyecto hidráulico, y el peso de la lumbrera adosada distribuido sobre la losa, al dividirlo entre el área de esta.

Para la trabe - vertedor se recomienda un espesor mínimo de 20 cm, ya que estará también expuesta a un medio agresivo, empleando en el análisis, además de su peso propio, el peso de un tercio de la losa con sus propias cargas. En dirección horizontal estará sujeta a la presión trapezoidal producida por la carga hidráulica de operación.

Por las dimensiones del tanque, no influye la sobrepresión hidráulica de la masa de agua puesta en movimiento por un sismo.

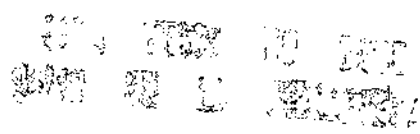
Cajas de derivación. - Son estructuras normalmente prismáticas, de poca a mediana profundidad, que sirven para captar directamente las aportaciones de colectores superficiales y llevarlas al drenaje profundo a través de tuberías de concreto.

Al estar formadas por elementos planos, como muros y losas, son muy sensibles a la flexión, la que gobierna su diseño. Pueden, por sus dimensiones, estar en zonas de tránsito vehicular ya que solo requieren una pequeña chimenea de acceso para mantenimiento. Como se dijo anteriormente, son sensibles también al efecto de flotación, sobre todo en la etapa constructiva.

La estructuración depende de la geometría general del proyecto hidráulico; puede ser basado en losas macizas de fondo y tapa, y muros, cuando las dimensiones son reducidas, o de un sistema de contratraves, traves y contrafuertes, cuando las dimensiones son grandes. La flotación, en caso de necesidad, se puede eliminar construyendo aletas prolongadas de la losa de fondo para que actúen como lastre.

Para el cálculo del peso propio y prediseño, se recomienda el empleo de muros de 20 a 25 cm de espesor, con losas de 25 a 30 cm en tapa y fondo.

La losa de tapa se analizará para soportar su peso propio, un relleno de espesor definido por el proyecto, y la carga viva correspondiente, sea de camión o no. La losa de fondo deberá resistir las cargas anteriores, en adición al peso de los muros; estos, a su vez, estarán sometidos a la carga vertical que proviene de la losa tapa, mas los empujes del terreno y del agua freática.



Estructuras de control. - Son estructuras verticales, normalmente tubulares de sección circular (aunque pueden ser de otra forma), que alojan compuertas deslizantes para controlar el paso del agua de los colectores al drenaje profundo.

Las sollicitaciones de carga, adecuadas a sus dimensiones, son similares a las de las lumbreras principales del tipo constructivo. Tienen la ventaja de una mayor rigidez, producida por los muros interiores de soporte de las compuertas. Su profundidad oscila de los 10 m y los espesores a considerar dependen del sistema constructivo, definido este por la mecánica de suelos.

En el caso de emplear anillos precolados como ademe, es suficiente un espesor de concreto colado en sitio de 12 cm de espesor y el empleo de cimbra deslizante.

Cajas de deflexión. - Son similares en geometría y cargas a las anteriores, y su función es solo el de cambiar de dirección de una línea de conducción, cuando las necesidades del proyecto lo requieran. Algunas veces pueden actuar como lumbreras constructivas, para la eliminación de rezaga durante los procesos de construcción.

5.2 Análisis estructural

Para dar mayor claridad a los conceptos aquí presentados, se tomarán sus elementos integrantes aislados, aunque se considerará el efecto de trabajo de conjunto en el caso de la revisión de la interacción suelo estructura, tanto para sismo, como para consolidación.

Lumbreras. - Para el análisis se consideran dos etapas. La primera etapa comprende la construcción de la lumbrera hasta antes de tener el túnel. La segunda, una vez iniciada la construcción de este, cuando ya se pueden establecer la interacción suelo estructura y la interacción con las estructuras complementarias.

Dada la amplitud de este tema, se ha establecido que las estructuras tratadas se encuentran en terreno compresible, por lo que está implícito el proceso constructivo conocido como flotación. Esto define la primera condición de carga, que es la combinación de peso propio con la presión producida por el todo bentonítico en el exterior del revestimiento, antes de que la inyección de mortero pueda sustituir a la bentonita y que se produzca la liga entre estructura y suelo.

Esta fase de una primera etapa se puede omitir el efecto de sismo, ya que no será de consideración al estar aislada y suspendida la estructura. Las cargas correspondientes a peso propio, lastres y procesos de construcción, deberán definirse con las secciones preliminares, mientras que las correspondientes a flotación y empuje de lodos se definen teniendo como base el estudio de mecánica de suelos.

Establecida la liga entre estructura y suelo, se analizará una segunda fase de la primera etapa (lumbrera sin túnel), para lo cual, el estudio de mecánica de suelos define las condiciones de carga como son fricción (negativa o positiva), efecto de sismo y cualquier sollicitación producida por cambios de las condiciones del suelo que se esperen hasta la fecha de construcción del túnel. Las cargas producto del peso propio, son las mismas que en la primera fase.

La segunda etapa se inicia con la construcción del túnel, y continúa con las obras complementarias interiores en el caso de lumbreras de captación. Esta etapa se estudiará posteriormente, ya que al existir interacción entre todos los elementos del sistema, conviene definir primero dichos elementos de manera aislada.

El análisis de los elementos estructurales complementarios de una lumbrera de captación se hace de acuerdo a las solicitaciones de carga que soportarán durante su operación. Así se tienen las que a continuación se indican.

Lumbreras adosadas, con anillos sujetos a presión interior radial, producida por el agua almacenada hasta el nivel de ahogamiento, además del peso propio.

Losa del tanque amortiguador, sometida a la presión del agua hasta el nivel de tirante máximo en la descarga del vertedor y al peso de la lumbrera adosada. Para el análisis se considera empotrada en el muro de la lumbrera principal y apoyada en la trabe del vertedor. Los coeficientes para momento están definidos en manuales técnicos (Roark, 1965) o mediante análisis de placa con elemento finito.

Trabe del vertedor, sometida a la carga que le transmite la losa del tanque amortiguador y a la presión horizontal del agua durante la descarga.

Estructuras adicionales. - Las situaciones del análisis planteadas para lumbreras son válidas para estructuras profundas o semiprofundas, con un colchón de material mayor de 5 D en el caso de tubos. Se incluyen las lumbreras de deflexión, estructuras de control, lumbreras de derivación, etc.

En el caso de estructuras tipo prismático, como son las cajas de derivación, es necesario definir, a través del estudio de mecánica de suelos, las solicitaciones del terreno y de las cargas de tránsito vehicular en la superficie, y las cargas de operación. El análisis se hará tomando en cuenta la continuidad entre muros y losas, o entre muro y muro. Se incluyen las combinaciones de carga permanente y accidentales que se estimen adecuadas para cada caso.

5.3 Diseño estructural de elementos

Los factores de carga a emplear en la obtención de los elementos últimos de diseño son los mismos que marca el reglamento como sigue:

FC = 1.4, para condición de carga permanente
FC = 1.1, para condición de carga permanente y accidental.
FC = 1.2, cuando se prevea una posible falla en compresión.

De igual manera, los factores de reducción para la obtención de elementos resistentes de concreto son los que marca el citado reglamento. Como sigue:

FR = 0.9 para flexión
FR = 0.8 para cortante
FR = 0.7 para aplastamiento

Lumbreras.- Son los elementos que primero se construyen dentro del sistema de drenaje profundo, y su diseño se hará considerando las dos condiciones de carga a que estarán sometidos en su vida.

La primera condición es resistir las presiones producidas por el todo bentonítico durante la construcción y las del terreno y peso propio terminada la construcción, antes de que se ligue al túnel. Este caso se trata como el de un elemento sometido a compresión anular o la combinación de compresión axial y compresión anular, pero con los coeficientes de carga estática.

La segunda condición de diseño será la combinación de momento flexionante y fuerza cortante producidas por sismo y la carga axial producto del peso propio y fricción y empujes del terreno. El factor de carga será el correspondiente a condiciones accidentales, y el diseño se hará para una sección tubular sometida a flexocompresión, considerando simultáneamente los resultados de la interacción suelo estructura definidos por el estudio de mecánica de suelos.

Para el diseño se puede proceder de dos maneras, a saber.

- a) Con las características geométricas y mecánicas conocidas, calcular la cantidad de acero necesaria para satisfacer las ecuaciones de equilibrio.
- b) Calcular las curvas de interacción carga axial – flexión, para varios porcentajes de acero y comparar los valores de los elementos mecánicos últimos con estas curvas, a fin de conocer el acero que resiste las solicitaciones.

El refuerzo se colocará preferentemente en dos lechos, cumpliendo con los requisitos de acero mínimo, excepto en estructuras poco profundas, donde la mecánica de suelos recomienda anillos de concreto con revestimiento primario; aquí se podrá colocar en un lecho.

Dentro de los elementos que forman la lumbrera se encuentra la losa de fondo, que es una placa circular sometida a cortante y flexión. El acero necesario por flexión se calcula con las fórmulas de resistencia de materiales en diseño elástico o plástico. Se recomienda distribuir el acero en parrillas uniformes y completar con bastones radiales para el momento negativo, y parrilla adicional para el acero positivo al centro del tablero. Esto facilita el armado.

El siguiente elemento estructural a diseñar es la lumbrera adosada que recibe directamente las aportaciones de los colectores superficiales; esto define automáticamente las solicitaciones y los elementos mecánicos de diseño: compresión por peso propio y tensión anular por la presión del agua durante el ahogamiento. El acero necesario se calculará para resistir dicha tensión y el agrietamiento del concreto. Se deberán reforzar las aberturas del muro, compensando el acero que se interrumpe en esos lugares mediante acero concentrado en los bordes de dichas aberturas.

A continuación se pasa a la losa de fondo del tanque amortiguador. Esta es semicircular, apoyada en el muro de la lumbrera principal y en la trabe – vertedor. El diseño se hará verificando el peralte necesario por flexión y cortante, así como el correspondiente a la penetración del tubo de la lumbrera adosada en la losa. El acero calculado se colocará en dos parrillas, procediendo como en la losa de fondo.

Para los muros vertedores se considera que la rama interior de los estribos resiste los empujes del agua acumulada en el tanque amortiguador, y la exterior toma los esfuerzos cortantes de carga vertical. La separación menor de las dos calculadas es la que deberá regir el diseño. El acero necesario por flexión se calculará con los métodos ya mencionados.

La losa de tapa, en el caso de tener lumbreras en zonas de tránsito, se diseñará para las solicitaciones de trabajo de manera similar a la que se recomendó para la losa de fondo. Su posición, respecto al terreno, dependerá del tipo de carga, sin embargo, un colchón de relleno del orden de 1.50 m será suficiente, de acuerdo con recomendaciones de diseño de obras de arte para caminos y carreteras.

Finalmente, se establecen las características de los elementos precolados que forman la cubierta provisional de las lumbreras, empleada durante la etapa posterior a la terminación de

la lumbrera y antes de la construcción del túnel. Estos mismos elementos se emplean como cubierta definitiva después de terminada la construcción del túnel, mediante el empleo de un colado de liga como acabado final.

En la primera etapa se diseñan como secciones simples para resistir el peso propio, las cargas vivas de operación y las de montaje, mientras que en la segunda, las cargas son mayores, pero su diseño se basa en la sección compuesta precolado – colado de liga. El mismo procedimiento se empleará para el diseño de las traveses portantes.

En el caso de los dos últimos elementos mencionados, se deberá tomar en cuenta su presencia para que no obstruyan el adecuado funcionamiento de la lumbrera durante la construcción del túnel. Se revisará la posición y capacidad de los ganchos de izado con un factor de impacto de 30 por ciento.

Cajas de derivación. - El diseño de los muros y losas que forman las cajas de derivación es fundamentalmente a flexión, por lo que las fórmulas a emplear son las tradicionales de resistencia de materiales que contiene el Reglamento del D. F. En todo caso, se deberá comparar el acero calculado por flexión contra los aceros mínimos por cambio volumétrico; su localización será de manera que no dificulte el proceso de colado. Se revisará su conexión con los colectores.

Estructuras de control y cajas de deflexión. - El diseño de las lumbreras de control y cajas de deflexión es similar al de las lumbreras principales, esto es, elementos sujetos a compresión radial y flexocompresión longitudinal. La única diferencia radica en las dimensiones generales y la presencia del diafragma donde se sujetan las compuertas de la estructura de control.

Se deberá tener especial cuidado de la conexión de la lumbrera con la conducción, ya que siendo superficiales (en comparación con el drenaje general), los daños causados por fallas en esas uniones afectan de manera importante a las estructuras que se encuentran en su vecindad.

Las cajas de deflexión, se diseñan bajo los mismos parámetros indicados en el párrafo anterior.

6. - Experiencia en la operación de las captaciones

En este capítulo se presenta de manera muy breve algunos de los problemas que se presentan en las estructuras durante su operación. Este desarrollo se hace basado en una plática otorgada por el Ing. Juan Manuel Anguiano Lozano, jefe de la Unidad Departamental de Drenaje Profundo de la Dirección de Operación de la DGOH, por el Ing. Tomas Antonio Aguilar Chavez, Ing. Residente de la Oficina del Interceptor Poniente, y con el laboratorista, pasante de ingeniero Jorge Caballero del Laboratorio Experimental de Xotepingo, de la DGOH

Desgraciadamente no se cuenta con bibliografía que se refiera a este tema porque esto es muy variable en cada caso, y no se puede plasmar tan sencillamente como pudiera llegar a pensarse. Esto es declarado en la base de que no puedo plasmar todas las ideas e información que he recibido en las pláticas mencionadas, debido a que son problemas a veces subjetivos o propios de una estructura y que no se pueden generalizar para todo el sistema.

Las experiencias que se han tenido en la operación se enumeran más en la problemática que existe que en los aciertos que se han tenido, lo anterior porque son las causas que provocan problemas las que inducen mejoras en el sistema y no los aciertos en la operación.

Problemas de operación en las estructuras que componen el sistema.

Colector madrina:

En esta componente los problemas que con mayor frecuencia se presentan y causan problemas son los debidos a hundimientos diferenciales o locales en donde estos se encuentran alojados, y los cuales provocan que las condiciones hidráulicas cambien en su interior, la eficiencia del colector disminuye según los cambios que se presentan. Esto llega a provocar inundaciones en el drenaje superficial.

Caja de control:

En esta estructura se han presentado diferentes problemas, algunos ligados con los hundimientos del terreno, y otros ligados con el tipo de agua que se maneja en el sistema. A saber, los problemas originados por los hundimientos son desalineamiento de las obras que contienen las compuertas, lo que llega a provocar que estas no trabajen eficientemente, o que lleguen a presentar fugas.

Los hundimientos también llegan a modificar el funcionamiento hidráulico de la estructura en su relación con las demás componentes a las que está ligada, esto es, al colector madrina y al canal de transición. Por otra parte los problemas que se tienen por el manejo de aguas residuales, son que estas debido a su composición despiden vapores o gases que dañan las estructuras de acero (acelerada oxidación de las componentes), como son los sistemas de izaje, las mismas compuertas o sistemas de rejillas que se utilizan en algunos casos.

Para evitar estas oxidaciones que provocan las aguas es recomendable el uso de recubrimientos basados en fibras de vidrio, pero desgraciadamente esto no se puede hacer en todas las estructuras, por lo que se utilizan pinturas que previenen estas oxidaciones.

Canal de transición:

En esta parte de la conexión el problema que se tiene es el debido a los hundimientos diferenciales, ya que modifican su funcionamiento hidráulico con respecto a la caja de control. Generalmente el canal de transición está unido a la lumbrera constructiva, por lo que adopta sus movimientos y no los de la caja de control.

Lumbrera adosada:

En estas estructuras generalmente no se tienen problemas, aunque algunas veces llegan a ser afectadas por los hundimientos diferenciales, esto con su relación a las estructuras de desfogue al drenaje profundo.

Conductos de desfogue:

En estos conductos generalmente se debe tener cuidado en su descarga al túnel profundo, debido a que la descarga debe permitir un buen flujo, y no un taponamiento de ambos flujos. Los hundimientos diferenciales cuando son muy grandes a veces llegan a afectar los conductos en la acumulación de azolves.

Túnel de drenaje profundo:

En esta estructura es donde se han presentado la mayoría de los problemas, sobretodo por los hundimientos en el terreno, lo cual ha llegado a provocar que las pendientes en los conductos lleguen a ser adversas, esto conlleva un cambio radical en el funcionamiento hidráulico de la estructura.

En el caso particular del Interceptor Poniente se han llegado a presentar azolves hasta de 3.50m, lo cual prácticamente es un tapón en el túnel. Esto lógicamente cambia todas las condiciones hidráulicas del sistema.

En general y como se mencionó antes, esta es una breve descripción de las experiencias que se han tenido en la operación de las captaciones. No es tan rica como pudiera llegar a pensarse en algún momento, pero trata de ser explícita y de llegar a abordar en general toda la problemática que se ha presentado en determinado momento.

Se tiene conocimiento de una gran problemática, pero es puntual y nuevamente como se ha mencionado anteriormente, se tendría que estudiar cada caso en forma particular y poniendo atención a todas las variables involucradas.

7. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el presente siglo el problema de las inundaciones en el Valle de México ha ido en aumento, por lo que se han buscado soluciones al problema, una de estas soluciones fue la construcción de un drenaje que no estuviera sometido a los problemas de hundimiento y que su funcionamiento fuera por gravedad para aminorar los gastos de operación.

Construir túneles a gran profundidad es una muy buena solución al problema, pero esto presenta otro problema, que es el de bajar grandes cantidades de agua desde la superficie hasta las profundidades a que este se encuentra por los problemas que el agua causa a las estructuras.

Se han buscado muchas soluciones ha este problema de la caída del agua, desarrollando teorías, construyendo modelos y experimentando en laboratorios, así se ha logrado resolver el problema, aunque actualmente se siguen analizando alternativas que puedan mejorar a las que se tienen.

En el presente trabajo se dan a conocer las obras de captación al Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México que se han desarrollado desde que este se presentó como una alternativa a los problemas de inundación de la Ciudad de México, se hizo la ubicación del problema en el ambiente histórico y físico para un mejor conocimiento de este.

También se ejemplificó numéricamente los procedimientos del diseño hidráulico de las estructuras que se utilizan como conexión, y se presentaron en forma general los procedimientos y recomendaciones para el análisis geotécnico y el diseño estructural.

Finalmente se presentó en forma muy breve algunas de las experiencias en la operación de las estructuras.

Sobre la base de lo estudiado y observado a lo largo de este trabajo se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

La configuración geohidrológica de la cuenca del Valle de México, hace necesario el desalojo de las aguas negras y pluviales por sistema profundo esto, para evitar gastos de operación y problemas técnicos y sociales.

En los sistemas urbanos de drenajes se presenta usualmente el problema de descargar un gasto grande, desde un colector superior, hasta otro colector o interceptor, localizado a cierta profundidad del primero. Esto permite la existencia de diferentes alternativas para la conexión, la más sencilla consiste en efectuar la descarga en forma directa a través de una lumbrera vertical (caída libre), existen dos alternativas más que son la cámara en espiral y la caída con ranura vertical.

La caída más eficiente hidráulicamente hablando no siempre es la caída libre, por lo que se deben considerar las condiciones y acomodo de las estructuras para la mejor selección de la estructura a emplear.

Las captaciones con caída libre permiten abatir los costos de construcción y el tiempo de realización de la obra. El criterio indicado para su diseño se basa en resultados experimentales de los valores medidos de tirante y presión en el canal de transición y el fondo de la lumbrera

adosada. Las curvas utilizadas en el diseño se han obtenido experimentalmente, con la confiabilidad que proporcionó la instrumentación utilizada y el tamaño del dispositivo experimental utilizado.

La caída libre si bien proporciona el menor gasto económico pierde este atractivo cuando los gastos de diseño y las alturas de caída son grandes (mayores a 20 m) por los problemas de succión que se presentan en la estructura de llegada, ya que estos llegan incluso a destruirlas.

El uso de las cámaras en espiral, resuelve el problema de las succiones en la estructura por la entrada de aire en el centro del chorro lo que la hace una estructura muy eficiente hidráulicamente hablando para gastos y altura de caída grandes, el problema que se presenta en esta estructura es, que requiere por su geometría de un gran espacio para su construcción y operación, además el tiempo de realización de la obra es largo lo cual llega a ser un determinante en su selección.

Otro de los inconvenientes que presenta la cámara en espiral son los problemas constructivos. Dada la geometría de dichas cámaras, los procesos constructivos son complicados y requieren de equipo especializado para su elaboración.

La caída mediante ranura vertical es muy eficiente para gastos y alturas de caída grandes, por lo que su uso es común. Aunado a esto los procesos constructivos son más sencillos y el costo es menor. Esta solución es una de las más recientes que se han obtenido por lo que actualmente se están acondicionando lumbreras de cámara en espiral a lumbreras de caída vertical.

Generalmente se selecciona o prefiere la caída mediante ranura vertical por encima de la cámara en espiral por las ventajas mencionadas, aunque se debe tener especial cuidado en su construcción, para evitar que la lámina de agua se desprege de la plantilla e impacte la pared de enfrente.

Los trabajos que realizan las dependencias a cargo del sistema de drenaje profundo, como son los estudios en modelos hidráulicos son de gran importancia para el desarrollo de las estructuras de captación, estos trabajos no solo ayudan en el diseño, sino también en el mantenimiento y preservación de las estructuras.

Las consideraciones que se presentan en este trabajo para la realización de los trabajos de análisis geotécnico y diseño estructural, consideran la zona de lago, que en el caso de la cuenca es más desfavorable, por lo que se pueden considerar otros aspectos o criterios menos conservadores en las zonas de tomas o transición.

Se debe tratar de realizar el mantenimiento de una manera preventiva y no correctiva para resolver los problemas hasta que se presentan como muchas veces sucede. Desgraciadamente a este punto no se le ha podido dar toda la solución posible y esto trae mayores costos económicos, además de que el sistema es tan sensible que si no se tiene cuidado de él la ciudad es la que queda propensa a los problemas de inundamientos; por esto se debe mantener en las mejores condiciones posibles todo el sistema.

Recomendaciones

El estudio de las estructuras de conexión al sistema de drenaje profundo no se debe realizar en forma aislada, siempre se debe considerar el entorno que se presenta en cada caso para lograr

diseñar la mejor estructura en todos los aspectos involucrados (constructivos, económicos, de seguridad, operativos, etc.)

Se debe hacer un análisis de las condiciones hidráulicas del túnel profundo, ya que esto puede afectar en el funcionamiento hidráulico de la captación debido a que se puede presentar el caso en que en el túnel haya pendientes adversas por los hundimientos diferenciales y locales que este sufre, además del azolvamiento mayor que este puede llegar a tener por ello; estas condiciones pueden llegar a provocar que la lumbrera no descargue todo el caudal necesario en forma eficiente, por lo que se debe analizar el funcionamiento de todo el conjunto

Debe tenerse especial cuidado en el diseño geométrico de los tubos de desfogue, a fin de que las descargas de estos no constituyan una obstrucción al flujo del túnel.

También se debe tener especial cuidado en el diseño de los diámetros de la lumbrera, de tal forma que se apeguen lo más posible a los diámetros comerciales para evitar en la medida de lo posible aumento en los costos económicos.

Es recomendable evitar al máximo los colados que produzcan acabado irregular, a fin de evitar el despegamiento de la lámina de agua y el impacto de esta contra la pared de la lumbrera.

Es de gran importancia definir las condiciones geotécnicas del lugar en que se planea proyectar o construir una captación al sistema de drenaje profundo, debido a que este aspecto es el que más influencia ha presentado durante la operación de las captaciones. De ser necesario se deben realizar nuevos estudios en los lugares exactos y no remitirse a estudios de lugares cercanos o que se hicieron hace ya varios años como se ha hecho, esto debido a que las condiciones hidráulicas en el subsuelo cambian constantemente por la extracción que se hace de los mantos profundos.

Papel importante juega los procedimientos constructivos, los cuales estarán supeditados a las recomendaciones de la mecánica de suelos y deberán ser tomados en cuenta al establecer las sollicitaciones de carga de la estructura.

Esto incluye los procedimientos constructivos de excavación, precauciones a tomar en esta etapa, rellenos, elementos precolados cuando las obras o parte de ellas son provisionales; el procedimiento en sí, deberá quedar perfectamente detallado en los correspondientes planos ejecutivos.

Se debe poner especial atención a los trabajos experimentales que se realizan en laboratorio, ya que de ellos se pueden tener mejores propuestas o recomendaciones, además de que los costos se reducen en gran medida al trabajar en un modelo y no en un prototipo.

Se deben tomar en cuenta las recomendaciones que hace la DGCOH, por medio de los manuales que para este fin ha realizado, además de apoyarse en la experiencia de los constructores y proyectistas de captaciones anteriores

No se pretende con lo enunciado anteriormente cambiar la metodología que la DGCOH utiliza para la realización de sus proyectos o la operación de los mismos, solo se hacen las observaciones para un mejor posible desarrollo de estos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AR Ingenieros Civiles S A

Proyecto ejecutivo de la captación del colector Apatlaco en la lumbrera 2 del Interceptor Oriente del Sistema de Drenaje Profundo de la Cd de México, DDF DGCCH México 1990.

2 Chow, Ven Te

Hidráulica de los canales abiertos. Ed. Diana. México, 1982.

3. Departamento del Distrito Federal. Secretaría General de Obras

El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones del área urbana del Valle de México

4. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Secretaría General de Obras. Departamento del Distrito Federal.

Criterios y recomendaciones para el proyecto de aprovisionamiento de agua y alcantarillado.

- ❖ Tomo VI. Diseño de estructuras de conexión al drenaje profundo AL 300-85.
- ❖ Tomo XI. Análisis de mecánica de suelos para el diseño de lumbreras y túneles del drenaje profundo.
- ❖ Tomo XVII Túneles y lumbreras para el drenaje profundo.

5. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica Secretaría General de Obras. Departamento del Distrito Federal.

Manual de diseño hidráulico de captaciones con descarga directa a la lumbrera vertical y túnel profundo, enero de 1989.

Manual de diseño hidráulico de cajas de planta circular para el control de caudales descargados al drenaje profundo, 1988.

6. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Subdirección técnica

7. Gardea Villegas, Humberto

Hidráulica de canales, México. Facultad de Ingeniería, UNAM.

8. Ingeniería, Desarrollo y Sistemas, S. A.

Análisis de vórtice espiral y del vórtice ranura vertical en lumbreras de caída, México 1990

9. Ingeniería, Desarrollo y Sistemas, S. A.
Relaciones carga – gasto para lumbreras vórtice. DGCOH. México.
10. Laboratorio de Ingeniería experimental, Xotepingo. México
11. Marsal, R. J., and Mazari, M., 1969.
The subsoil of México City, México: UNAM.
12. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. 1987 D.D.F.
13. Secretaría General de Obras.
Manual de exploración geotécnica, DDF. México 1988.
14. Sottec. Ingenieros S. A.
Proyecto hidráulico y de aspectos estructurales de captaciones y de apoyo técnico en diversos problemas de estructuras de drenaje. DGCOH, SGO, DDF. México, diciembre de 1982
15. Sottec. Ingenieros S. A.
Revisión y adecuación del funcionamiento hidráulico de las captaciones actualmente en proyecto. DGCOH. México
16. Sotelo A. Gilberto
Hidráulica General Vol. I Fundamentos. Editorial Limusa, México 1974.
17. Sotelo A. Gilberto
Un criterio para el diseño hidráulico de una cámara espiral sobre una lumbrera. Instituto de Ingeniería de la UNAM, febrero de 1971
18. Sotelo A. Gilberto
Apuntes de Hidráulica II. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.